North of 60

Environmental Studies No. 2

A Classification of Fire Effects on the Microclimate of Forest and Tundra Ecosystems - Final Report

Environmental Studies No. 2

A Classification of Fire Effects on the Microclimate of Forest and Tundra Ecosystems - Final Report

W. R. Rouse
P. F. Mills
Department of Geography
McMaster University

Published under authority of the
Hon. Warren Allmand,
Minister of Indian and Northern Affairs,
Ottawa, 1976.
QS-8147-000-EE-A-1
ISBN-0-662-01240-2

©Minister of Supply and Services Canada 1977
Catalogue No. R71-19/2

This report was prepared under contract for the Environment Division, Northern Environmental Protection and Renewable Resources Branch, Department of Indian Affairs and Northern Development. The views, conclusions and recommendations expressed herein are those of the author and not necessarily those of the Department.

CONTENTS

		Page
List of Tables		ii
List of Figures		iii
Part 1.	Objectives and Introduction	1
	1. Objectives	1
	2. Introduction	1
Part 2.	Effects of Burning on the Microclimate	4
	3. Data Collection	4
	4. Results	5
	4.1 Temperature and precipitation	5
	4.2 Soil temperature	8
	4.3 Soil moisture	8
	4.4 Radiation	8
	4.5 Evapotranspiration	8
	5. Summary Remarks	9
Part 3.	Comparison to other High Latitude Surfaces	14
	6. Introduction	14
	7. Radiation Balance	14
	8. Energy Balance	17
	9. Classification	17
Part 4.	General Conclusions	17
Acknowledgements		20
References		21

LIST OF TABLES

		Page
Table 1.	Designation of research sites.	2
Table 2.	Average climatic data - 1974, 1975, 1976.	6
	a) research period b) screen air temperature c) precipitation d) soil temperature e) soil temperature differences f) soil moisture g) soil moisture differences h) radiation i) comparative radiation fluxes	
Table 3.	Periods during which evaporation from the energy balance was determined.	7
Table 4.	The calculation of daily totals of evapotranspiration.	12
Table 5.	Daily mid-summer radiation balance components.	16
Table 6.	Daily mid-summer energy balance components.	18

LIST OF FIGURES

		Page
Figure 1.	Research sites showing (a) an overall view of the five sites from the instrument tower at site E, (b) site E from ground level, (c) sites B and C, (d) site D and (e) site E.	3
Figure 2.	Linear regression of daily totals of LE calculated from the energy balance on LE_{EQ} determined from the equilibrium model. r is the correlation coefficient, δ the standard error of the regression coefficient.	10
Figure 3.	Relation of evaporation to soil moisture in the new burns and old burn. LE/PE is the ratio of actual to potential evaporation. α is from eq. (3).	11
Figure 4.	Comparison of LE measured from the energy balance to LE calculated using the equations in Table 4.	13
Figure 5.	Measurement sites showing A. upland lichen heath, B. wet sedge lowland, C. shallow lake, D. mature spruce lichen woodland, E. fresh burn, E. 25 year old burn.	15
Figure 6.	Classification of surfaces according to their net radiation and evaporation characteristics. The ratio of net radiation to incoming solar radiation is given by $Q^*/K\downarrow$. The ratio of the latent heat of evapotranspiration to incoming solar radiation is given by $LE/K\downarrow$	19

Part 1

Objective and Introduction

1. Objectives

The aims of this study are two-fold. The first is to summarize the microclimatic effects of burning of open subarctic woodland in terms of soil temperature and moisture; radiation; evaporation and evapotranspiration. The second is to compare the microclimatic characteristics of lichen woodland and of variously aged burns to wet and dry open tundra areas in terms of their energy balances.

2. Introduction

In the summer periods from 1974 to 1976 a comprehensive set of microclimatic measurements have been made at a site in the Northwest Territories situated approximately 85 mi. N.E. from Uranium City at 60° 21'N, 106°54'W. Details of the general research area are outlined in Kershaw and Rouse (1976). The site was chosen because of its propensity for natural fires; its uniform sandy soil characteristics developed on drumlin deposits; the uniform nature of lichen woodland forest on the drumlin crests; the contiguity of a moderately-sized 22 year old burn to an extensively fully-vegetated spruce-lichen woodland which had not been burned for at least 80 years. Small plots of lichen woodland were burned in the years 1973 and 1974 and in 1975 a larger area was burned. As seen in Table 1 these sites have been labelled A to E, site A being the youngest aged burn and site E the mature lichen woodland. A view of the 5 measurement sites is shown in Figure 1 and details of the surface characteristics of each site are given in Kershaw and Rouse (1976).

Three years of summertime microclimatic measurements (1974, 1975, 1976) have been completed along with some snow survey work in late winter, 1975. Details of the results of the 1974 and 1975 work are contained in Kershaw et al. (1975) and Kershaw and Rouse (1976).

This report summarizes all three years of detailed measurements and outlines the most significant features of the microclimatic changes which accompany burning. It also compares the results of this study to similar research carried out in the open tundra of the Hudson Bay coastline as reported by Rouse and Stewart (1972), Stewart and Rouse (1976a, 1976b) and develops a classification relating available energy and evaporation characteristics.

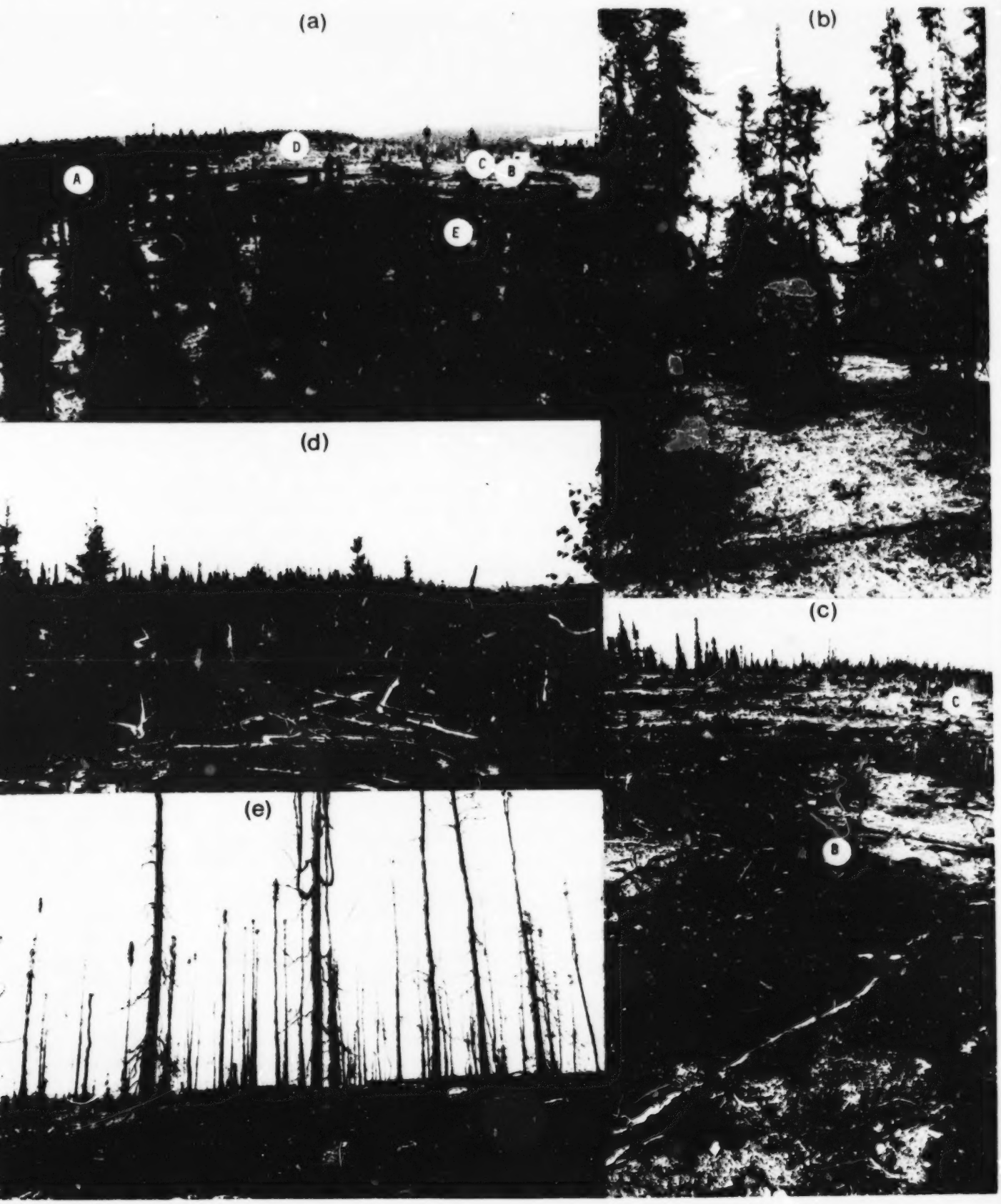
TABLE 1

Designation of research sites

RESEARCH SITES

Year	A	B	C	D	E
1972	LW(79)[a]	LW(79)	LW(79)	21 Yr. Burn	LW(79)
1973	LW(80)	LW(80)	0 Yr.Burn	22 Yr. Burn	LW(80)
1974	LW(81)	0 Yr. Burn	1 Yr.Burn (Reburn)	23 Yr. Burn	LW(81)
1975	0 Yr. Burn	1 Yr. Burn	2 Yr.Burn	24 Yr. Burn	LW(82)
1976	1 Yr. Burn	2 Yr. Burn	3 Yr.Burn	25 Yr. Burn	LW(83)

[a]The bracketed number of Lichen Woodland, LW( ), indicates the number of years since burning.


(a)
A
D
C
B
E
(b)
(d)
(c)
C
B
(e)

Part 2

Effects of Burning on the Microclimate

3. Data Collection

The full experimental periods for each summer of research are outlined in Table 2(a). The measurements in each of the three years did not cover the same time period and for measurement comparisons the data have been normalized.

Air temperature was recorded continuously on a hygrothermograph housed in a Stevenson Screen and the air temperature record is complete for all the research periods. Precipitation was measured at seven sites shown in Kershaw and Rouse (1976), and the average of these measurements have been used. Soil temperature was measured at all sites with thermocouples referenced to ice baths and placed at depths of 5, 10, 20, 40, 80 and 160 cm. Soil temperatures were recorded at hourly intervals during the daylight period on days with no precipitation. They were also measured on some occasions throughout the 24 h period. Soil moisture was measured with a neutron probe at 6, 4, 4, 5 and 12 locations at sites A, B, C, D and E respectively. Where possible measurements were made every five days at depths of 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 cm. In addition, in 1976, surface soil moisture (0 - 2.5 cm) was measured gravimetrically each day at each site.

The radiation balance Q* can be expressed in terms of incoming solar radiation K↓, surface albedo a, incoming long-wave radiation L↓ and outgoing longwave radiation L↑ in the form

$$Q^* = K\downarrow(1 - a) + L\downarrow - L\uparrow \qquad (1)$$

Each of these terms was measured directly or obtained by residual as noted in Kershaw et al (1975). In addition, the surface radiative temperature is obtained from L↑ as outlined in Kershaw and Rouse (1976). The radiation parameters were measured on most sunny days during the three research seasons.

In 1975 and 1976 the latent heat flux LE was determined using an energy budget approach where

$$LE = (Q^* - G)\left[1 - \frac{\gamma}{S+\gamma}\,\frac{\Delta T}{\Delta T_w}\right] \qquad (2)$$

G being the soil heat flux, γ the psychrometer constant, S the slope of the saturation vapour pressure - mean temperature curve which is a simple function of air temperature. ΔT and ΔT_w are the mean vertical gradients of dry and wet bulb air temperatures respectively. T and T_w were measured at 4 heights at site E(lichen woodland), site D (old burn) and

sites A, B, C combined (new burns). LE was calculated on an hourly basis and hourly values were summed to give daily totals. The same data which are used in eq. (2) supply information for the equilibrium model of evaporation in which

$$LE_{EQ} = \alpha \frac{S}{S+\gamma} (Q^* - G) \quad (3)$$

where α is a parameter that relates actual to potential evapotranspiration. As shown by Priestley and Taylor (1972), $\alpha = 1.26$ when evapotranspiration is proceeding at the potential rate. This has been verified for freely evapotranspiring tundra surfaces by Stewart and Rouse (1976a, 1976b). Values for α fall below 1.26 when the soil water supply becomes limiting or when the surface vegetation sets up a resistance to evaporation. Eq. (3) is an attractive model because $S/S+\gamma$ is a linear function of screen air temperature and $G \rightarrow 0$ for periods of a day or more. Then eq. (3) can be reduced to

$$LE_{EQ} = \alpha f(T) Q^* \quad (4)$$

Values of α have been obtained for the three major surface types of new burns, (sites A, B, C) old burn (site D) and lichen woodland (site E) by comparison of equations (2) and (3).

Data for use in eq. (2) and eq. (3) were collected in 1975 and 1976 for the periods shown in Table 3. Temperature and humidity gradients could only be measured during periods when the wind was from the south-west. Under these conditions adequate upwind fetches gave adjusted temperature and humidity profiles in the turbulent boundary layer. In total there are 20 days of data which give 188 hours of measurement.

4. Results

4.1 Temperature and Precipitation

The average screen air temperatures for the three study periods are presented in Table 2(b). Comparisons are made with the long term average at Fort Smith for the 30 year period (1941-1970). Fort Smith is located at the same latitude about 300 km to the west. The study periods of 1974 and 1975 were substantially colder than the average whereas 1976 had normal temperatures.

The highest rainfall on record was recorded in 1974 and was more than two and a half times normal. The summer of 1975 was also wet with precipitation 40 percent greater than normal. In contrast 1976 was dry with precipitation less than 80 percent of the long term average.

Thus a great variety of climatic conditions were encountered in the three years of study which can be described in summary as

TABLE 2

Average climatic data - Thor Lake 1974, 1975, 1976

LTA is the long-term average (1941-1970) at Fort Smith for the study period.
TL is the averaged data at Thor Lake for the study period.

(a) Research Period

1974	July 4 - Aug. 15	43 days
1975	June 8 - Aug. 15	68 days
1976	June 5 - July 26	52 days

(b) Screen Air Temp T is average temperature in °C. ΔT is temperature differences

Year	Period	Days	LTA	TL	ΔT(TL - LTA)
1974	July 4 - Aug. 15	43	15.4	13.6	-1.8
1975	June 9 - Aug. 15	68	15.7	12.9	-2.8
1976	June 5 - July 26	52	15.2	15.4	+0.2

(c) Precipitation (cm)

Year	Period	Days	LTA	TL	Precip/Day LTA	Precip/Day TL	TL/LTA
1974	July 11 - Aug. 14	34	4.39	11.64	.129	.342	2.65
1975	June 8 - Aug. 8	61	7.87	10.98	.129	.180	1.40
1976	June 6 - July 20	44	5.68	4.45	.129	.100	0.78

(d) Soil Temperature (°C)[1]

Year	Depth (cm)	Sites A	B	C	D	E
1974	0-40	ND	11.8	13.7	11.7	8.6
	0-160	ND	9.9	11.7	10.0	7.0
1975	0-40	12.9	14.1	15.6	12.7	9.2
	0-160	11.1	11.9	13.1	11.0	7.5
1976	0-40	13.9	14.2	15.4	12.6	9.0
	0-160	12.3	12.3	13.3	11.1	7.1

[1] Soil temperatures for different years are not directly comparable because length of data periods vary.

N.D. No data because site A had not been created.

(e) Soil Temperature Differences (°C) between burns and mature lichen woodland (1) Average Sites A, B, C - Site E. (2) Site D - Site E.

Year	Depth	(1)	(2)
1974	0-40	4.2	3.1
	0-160	3.8	3.0
1975	0-40	5.0	3.5
	0-160	4.5	3.5
1976	0-40	5.5	3.6
	0-160	5.5	4.0
Ave.	0-40	4.9	3.4
	0-160	4.6	3.5

(f) Soil Moisture (percent volume)[1]

Year	Depth (cm)	A	B	C	D	E
1974	0-40	ND	18.1	17.1	16.7	20.1
	0-120	ND	18.6	17.6	16.5	21.2
1975	0-40	13.8	14.4	13.5	12.0	15.3
	0-120	14.8	15.2	14.2	12.5	17.0
1976	0-40	10.4	10.6	10.0	8.6	8.9
	0-120	11.2	11.8	11.1	9.4	13.7

[1] Soil moisture for various years is not directly comparable because length of data periods vary.

N.D. No data because Site A had not been created.

(g) Soil Moisture Differences (percent volume) between burns and mature lichen woodland (1) average sites A, B, C - Site E (2) Site D - Site E

Year	Depth	(1)	(2)
1974	0-40	-2.5	-3.4
	0-120	-3.1	-4.7
1975	0-40	-1.4	-3.3
	0-120	-2.3	-4.5

Year	Depth	(1)	(2)
1976	0-40	-0.1	-1.8
	0-120	-2.3	-4.3
Ave.	0-40	-1.3	-2.8
	0-120	-2.6	-4.5

(h) Radiation. K↓ - incoming solar radiation; a - surface albedo(%); K* - net solar radiation; L↓ incoming long-wave radiation; L↑ - outgoing long-wave radiation; L* - net long-wave radiation; Q* net (all-wave radiation. All radiation fluxes in cal cm^{-2} day^{-1}.

K↓	1974	553	L↓	1974	693
	1975	530		1975	492
	1976	512		1976	357

		A	B	C	D	E
a	1974	ND	5.1	8.5	15.6	20.4
	1975	5.0	6.5	9.0	15.6	20.4
	1976	7.8	9.0	10.2	12.7	17.8
K*	1974	ND	525	506	467	440
	1975	504	496	482	447	422
	1976	472	466	460	447	421
L↑	1974	ND	871	887	871	800
	1975	716	710	709	665	585
	1976	515	510	509	474	418
L*	1974	ND	-178	-194	-178	-107
	1975	-224	-218	-217	-173	-93
	1976	-158	-153	-152	-117	-61
Q*	1974	ND	347	312	289	333
	1975	280	278	265	274	329
	1976	314	314	309	330	360

(i) Comparative Radiation Fluxes. A, B, C - new burns averaged; D - old burn; E - lichen woodland.

	K^*_{ABC}/K^*_E	K^*_D/K^*_E
1974	1.17	1.06
1975	1.17	1.06
1976	1.11	1.06
Ave.	1.15	1.06

	L^*_{ABC}/L^*_E	L^*_D/L^*_E
1974	1.74	1.66
1975	2.36	1.86
1976	2.53	1.92
Ave.	2.27	1.81

	Q^*_{ABC}/Q^*_E	Q^*_D/Q^*_E
1974	0.99	0.87
1975	0.84	0.83
1976	0.87	0.92
Ave.	0.89	0.87

TABLE 3

Periods during which evaporation from the energy balance was determined

Year	Date	Time	Hours
1975	June 20	0900-1400	6
	21	0600-1800	13
	22	0600-1400	5
	23	0600-1500	8
	July 6	0900-1200	4
	10	1100-1800	8
	11	0400-1700	14
	12	0500-1800	4
	16	0400-1900	16
	23	0800-1300	6
	27	0500-1700	13
	Aug. 7	0900-1700	9
1976	June 18	0600-1800	13
	19	1600-1700	2
	28	0800-1600	9
	29	0700-1800	12
	30	0600-1800	13
	July 3	0600-1800	13
	4	0600-1800	13
	5	0600-1200	7
		Total	188

1974 - cool and very wet
1975 - cold and wet
1976 - warm and dry

4.2 Soil Temperature

Soil temperature data are presented in Table 2(d). The 0-40 cm near-surface soil layer represents the zone in which the tree roots of the lichen woodland are concentrated and the zone which undergoes the most active seasonal temperature fluctuations. Comparisons of the combined new burns (sites A, B, C) and the old burn (site D) with the lichen woodland (site E) are made in Table 2(e).

Site differences at all depths were similar. On average the soils of the new burns were 4.8°C warmer than those of the lichen woodland while those of the old burn were 3.5°C warmer. Temperature differences were greater when the weather was dry.

4.3 Soil Moisture

Average soil moisture data are given in Table 2(f) and comparisons between sites in Table 2(g). The fresh burn and the old burn both had drier soils than the lichen woodland. Differences were always greater at depth than near the surface. Differences decreased substantially as precipitation amounts decreased from 1974 to 1976. Soil moisture decreased substantially from 1974 to 1976 especially in the surface layers.

4.4 Radiation

All of the components of the radiation balance as expressed in eq.(1) are presented in Table 2(h) for the three years of measurement. Comparisons between the lichen woodland and the burned surfaces are made in Table 2(i).

Although there is some year to year variability in the data due to differing view factors of the instruments and changing moisture conditions, the results are clear cut. Burning increases absorbed solar radiation by almost 15% on the new burns and 6% on the old burn. Burning increases the net long-wave radiation loss by a factor of 2.3 on the new burns and 1.8 on the old burn. Net radiation is decreased by 11 and 13% on the new burns and old burn respectively, because the increased long-wave loss overshadows the increased solar radiation absorption.

4.5 Evapotranspiration

Evapotranspiration using the energy balance approach as expressed in eq.(2) was determined for 12 daily periods in 1975 and 8 days in 1976. These

represented the only days when the wind was from the proper direction to satisfy the fetch requirements implicit in eq.(2). The measurements cover a period when the volumetric soil moisture in the 0-160 cm layer ranged from 20% to 11% in lichen woodland, 15% to 8% in the old burn and 17% to 10% in the new burns.

Daily totals of LE regressed on LE_{EQ} (eq. 3) are presented in Fig. 2. Lichen woodland was evapotranspiring near the potential rate and its daily evaporation can be described by $LE = 1.13\ LE_{EQ}$ with a standard error of about 5 percent.

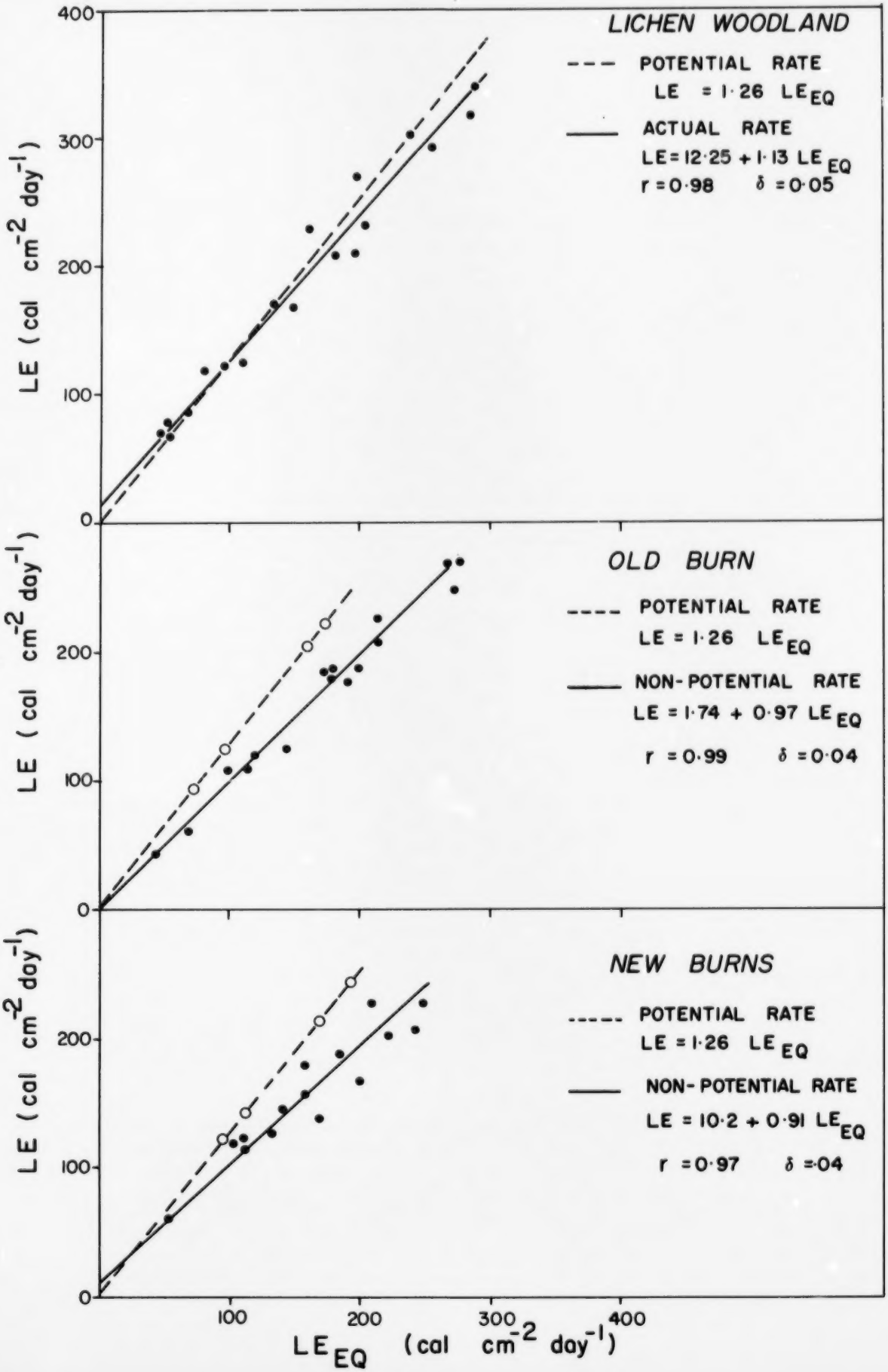
Evaporation in the old burn and new burns can be divided into two distinct regimes. The first is represented on 4 days, in each case, in the early summer of 1975, when soil moisture was high and evaporation was at the potential rate with $LE = 1.26\ LE_{EQ}$. For all other periods, evaporation fell below the potential rate. For the old burn the non-potential rate can be accurately described by $LE = 0.97\ LE_{EQ}$ while for the new burns the rate is lower at $LE = 0.91\ LE_{EQ}$. The dependence of evaporation in the new burns on soil moisture is more clearly defined in Fig. 3 in which the potential evaporation PE is defined by $PE = 1.26\ LE_{EQ}$. In the old burn it is evident that the change between potential and non-potential evaporation occurs around the 13% soil moisture level, whereas in the new burns it occurs at 15% soil moisture. This difference in evaporation rates in the old and new burns is due to the ability of the vegetation on the old burn to tap a larger volume of soil water for transpiration than is available for direct evaporation from the surface in the new burns. Fig. 3 shows that, under non-potential conditions, evaporation on the old burn proceeds at 77% of the potential rate and on the new burns at 72% of the potential rate.

Daily totals of evapotranspiration can be calculated simply from screen air temperature and net radiation as shown in Table 4. Calculated LE using the equations in Table 4 is plotted against measured LE for all surfaces in Fig. 4. It is evident that there is very good agreement although the calculated values tend to slightly overestimate at high evaporation rates. The maximum error is 15%.

5. Summary Remarks

Because of the large range in moisture conditions during the three years of this study, and the consistent nature of the results, conclusive statements on the impact of burning on the microclimate in subarctic lichen woodland can be made.

Burning dramatically changes the microclimate for periods in excess of 25 years. Summertime soil temperatures are increased by up to 5.5°C. The increase is most pronounced in dry summers. There is apparently no net change in annual soil temperatures (Kershaw and Rouse, 1976). Soil moisture is substantially decreased, the effect being most pronounced in the older burns. The soil moisture differences between sites are the same in wet and dry years. Summertime net radiation is reduced by more than 10% over the burns. Except in the early summer when the soils are very wet, evaporation is decreased by


LICHEN WOODLAND
POTENTIAL RATE
LE = 1·26 LE EQ
ACTUAL RATE
LE = 12·25 + 1·13 LE EQ
r = 0·98 δ = 0·05
OLD BURN
POTENTIAL RATE
LE = 1·26 LE EQ
NON-POTENTIAL RATE
LE = 1·74 + 0·97 LE EQ
r = 0·99 δ = 0·04
NEW BURNS
POTENTIAL RATE
LE = 1·26 LE EQ
NON-POTENTIAL RATE
LE = 10·2 + 0·91 LE EQ
r = 0·97 δ = ·04
LE (cal cm-2 day-1)
LE EQ (cal cm-2 day-1)
0
100
200
300
400

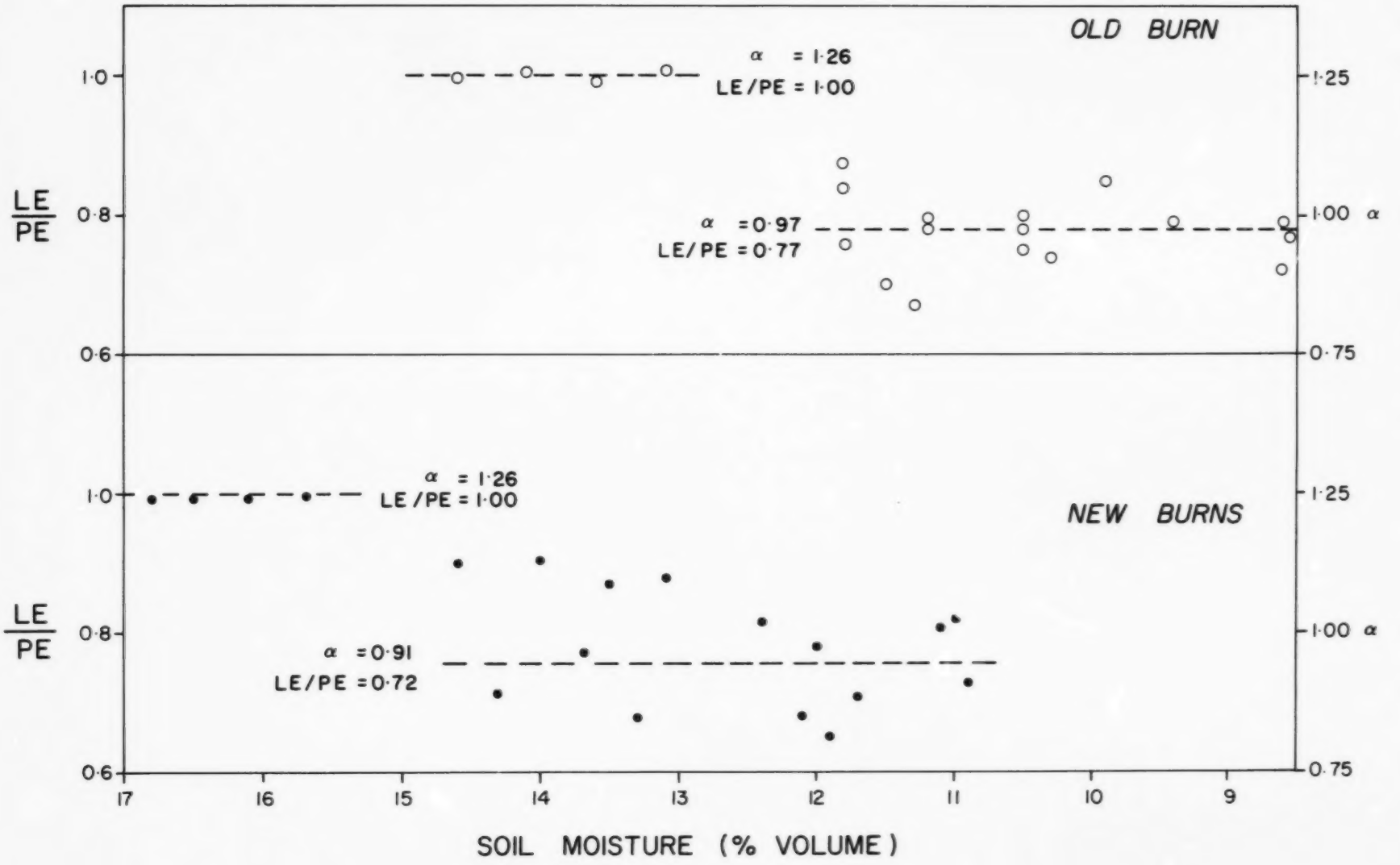
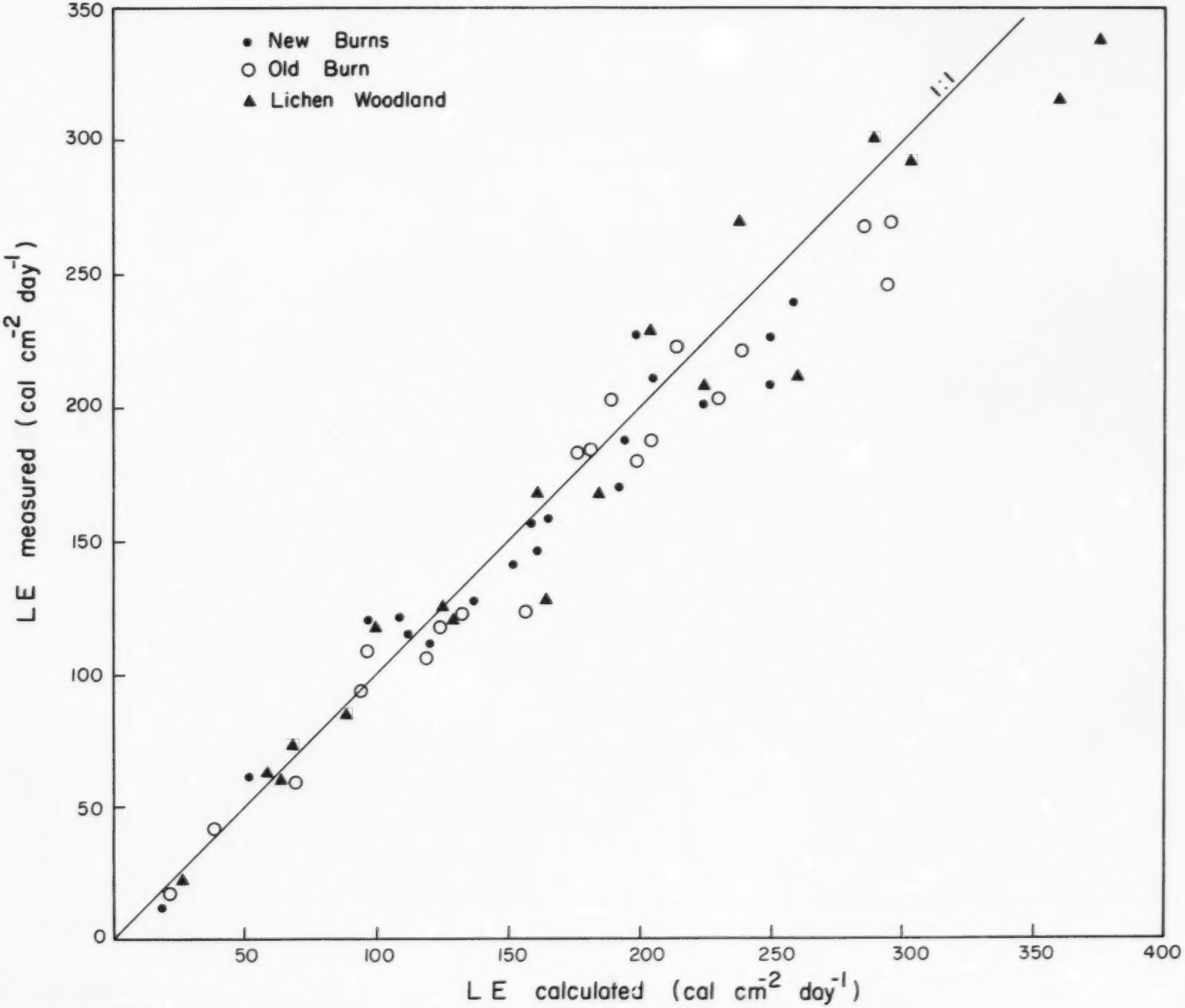

OLD BURN
α = 1·26
LE/PE = 1·00
α = 0·97
LE/PE = 0·77
NEW BURNS
α = 1·26
LE/PE = 1·00
α = 0·91
LE/PE = 0·72
LE/PE
α
1·0
0·8
0·6
1·25
1·00
0·75
17
16
15
14
13
12
11
10
9
SOIL MOISTURE (% VOLUME)

TABLE 4

The calculation of daily totals of evapotranspiration. LE is evapotranspiration or evaporation (cal cm^{-2} day^{-1}); Q* is net radiation (cal cm^{-2} day^{-1}); T is average screen air temperature for the daily period of positive Q* (°C)

Lichen Woodland		
All conditions	LE =	1.13 (0.434 + 0.012T)Q*
Old Burn		
Potential Conditions	LE =	1.26 (0.434 + 0.012T)Q*
Non-potential Conditions	LE =	0.97 (0.434 + 0.012T)Q*
New Burns		
Potential Conditions	LE =	1.26 (0.434 + 0.012T)Q*
Non-potential Conditions	LE =	0.91 (0.434 + 0.012T)Q*


• New Burns
○ Old Burn
▲ Lichen Woodland
1:1
LE measured (cal cm-2 day-1)
LE calculated (cal cm-2 day-1)
0
50
100
150
200
250
300
350
400

19% in the new burns and 14% in the older burns. The daily evaporation rate for all surfaces can be determined, remarkably well, in terms of net radiation and screen air temperature alone.

Part 3

6. Comparison to other High Latitude Surfaces and Classification

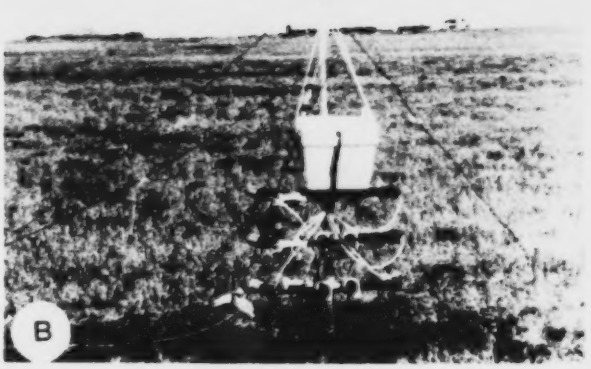
Radiation and energy-balance behaviour of middle-latitude surfaces has been well-documented during the last two decades but little research has been done in the higher latitudes. Recently, however, a number of studies over different high latitude surfaces have been completed. These include work in the open tundra at Barrow, Alaska (Weller et al. 1972, Weller and Hölmgren, 1974), the open coastal tundra of the Northwest Territories (Haag and Bliss, 1974) and wet and dry tundra on Ellesmere Is. (Smith, 1976). Rouse and Stewart (1972), Stewart and Rouse (1976a, 1976b) have reported on energy-balance research over upland lichen-heath tundra, wet sedge-lowland tundra and a shallow tundra lake. These studies can be directly compared to the results for the lichen woodland and burns contained in Section 2, since the experimental techniques were identical, the latitudes similar and the research seasons comparable. The various surfaces can then be classified according to their summertime radiation and energy-balance behaviour. The six surfaces used for comparison are shown in Figure 5.

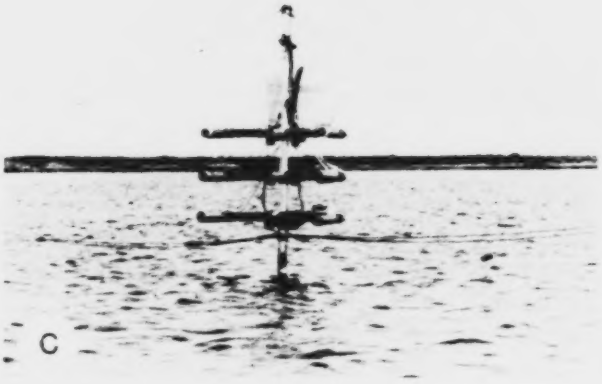
7. Radiation Balance

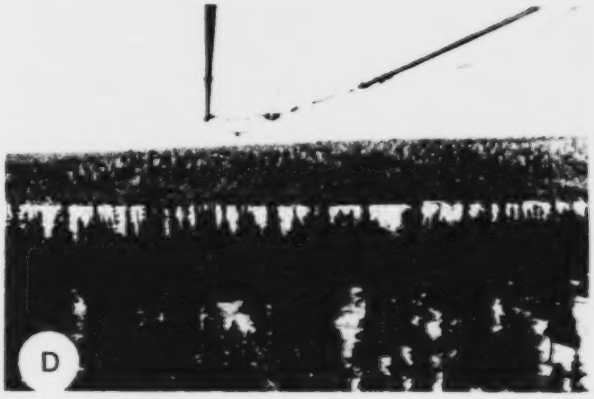
The component fluxes of the radiation balance are shown in Table 5. Only clear sky data have been used in this report. The average daily totals for K↓ were the same over all surfaces. Thus, in Table 5, the use of 100 units of K↓ is fully comparable between surfaces. Average daily totals of L↓ were also the same. The six surface types have been ordered from high to low according to Q*, which is the most important radiation parameter, since it represents the radiant energy available to the biosphere.

The large differences in Q*, between the different surfaces, depends on the interplay between the absorbed solar radiation K* and the net long-wave radiation loss L*. Thus, although the surface albedo (given by K↑) of the lake and new burns is about the same, the latter has a much lower net radiation due to its large outgoing long-wave flux caused by the high surface temperatures. Although the mature lichen woodland has the highest albedo of the surfaces studied, it maintains a high net radiation because of its cool radiating temperatures and resulting smaller long-wave loss. The lichen heath matches a relatively high albedo with a sizeable long-wave loss and suffers a diminished Q* compared to the lichen woodland. The shallow tundra lake and wet sedge meadow stand out as high energy surfaces as do saturated surfaces in all latitudes. The effect of burning of the lichen woodland is to drop it from a high energy to a low energy surface during the short summer period.

A


B


C


D

E

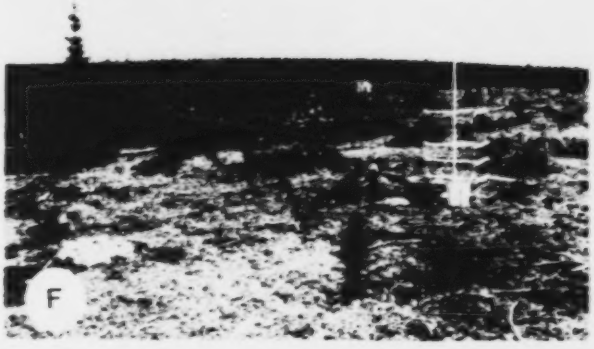

F

TABLE 5

Daily mid-summer radiation balance components

Percent of Incoming Solar Radiation for 24 h day

Surface	K↓	K↑	K*	L↓	L↑	L*	Q*
Shallow tundra lake (lat.56°)	100	8	92	86	105	-19	73
Wet tundra (lat.56°)	100	11	89	86	105	-19	70
Mature lichen wood-land (Site E)	100	20	80	86	101	-15	65
New burns (Sites A,B,C)	100	7	93	86	120	-34	59
Upland lichen heath (lat.56°)	100	19	81	86	109	-23	58
Old burn (Site D)	100	15	85	86	115	-29	56

8. Energy-Balance

Energy balance components are given in Table 6 in terms of 100 units of K↓ and using the same ordering of surfaces as for the radiation balance. In the case of the tundra lake, the data are valid only for a minimum 4 day period when heat storage in the lake approaches zero.

The shallow lake and wet sedge tundra have similar energy budgets which correspond closely with measurements made by Weller et al. (1972) over saturated tundra. They both represent efficient evaporating surfaces although the lake is a somewhat more effective evaporator primarily due to its higher net radiation.

The mature lichen woodland has the highest evapotranspiration of any of the upland surfaces. The other three upland surfaces comprising lichen heath, the new burns and old burns have similar evaporation rates. They all display a high surface resistance to evaporation which will be discussed in the next section. For all the upland surfaces in the high latitudes the daytime sensible heat flux H is large and comprises at least 20% of K↓. The large sensible heat flux from the fresh burn manifests itself visibly in the frequent formation of dust devils on warm summer days.

9. Classification

The surface can be classified according to their radiant energy and evaporation characteristics as shown in Fig. 6. It is apparent that the natural surfaces fall on a wide ranging scale from high energy-large evaporation to low energy-small evaporation. The effect of burning in the lichen woodland is to suddenly slide the surface from a median position to the low energy-evaporation end of the scale.

Part 4

General Conclusions

Fire has a pronounced effect on the microclimate in the subarctic woodland area which was studied. Summertime soil temperatures are from 3.0 to 5.5°C warmer in the burns. However, limited data (Kershaw and Rouse, 1976) indicate that there is no apparent net, long-term soil warming attributable to burning in the research area. Soils are from 12 to 20% drier in the burns and this is a long-term effect lasting for many decades. The net radiation over burned surfaces is reduced considerably and the evaporation rate is suppressed. These are both long-term effects.

As long as fires are localized to small areas of a few square km. the effects on regional climate and hydrology will be minimal. Large scale burning on the scale of hundreds of square km. would probably lead to some regional aridity which could influence water shed yields and affect delta area and wildlife habitats.

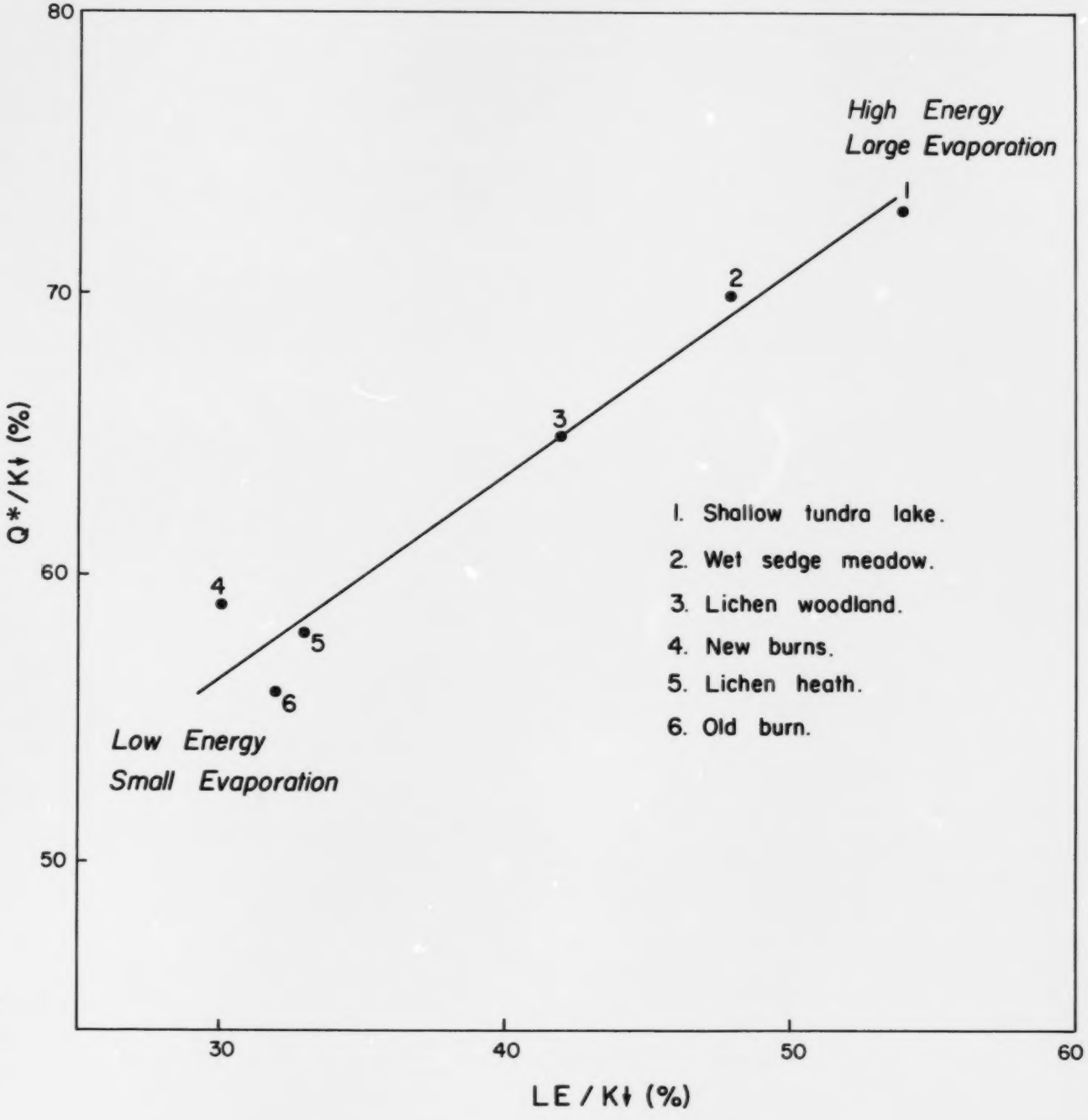
TABLE 6

Daily mid-summer surface energy balance components

Percent of Incoming Solar Radiation for 24 h day

Surface	Q*	G	LE	H
Shallow tundra lake (lat.56°)	73	0*	54	19
Wet tundra (lat.56°)	70	4	48	18
Mature lichen woodland (Site E)	65	3	41	21
Freshly-burned surface (Sites A,B,C)	59	2	30	27
Upland lichen heath (lat.56°)	58	3	33	22
25 yr. burned lichen woodland (Site D)	56	2	31	23

* Heating of a 0.5 m deep lake → 0 over a 4 day period


80
70
60
50
30
40
50
60
Q*/K↓ (%)
LE / K↓ (%)
High Energy
Large Evaporation
Low Energy
Small Evaporation
1
2
3
4
5
6
1. Shallow tundra lake.
2. Wet sedge meadow.
3. Lichen woodland.
4. New burns.
5. Lichen heath.
6. Old burn.

Acknowledgements

It gives us considerable pleasure to acknowledge the dedicated field assistance of John Kardynalzyk, Steve Fuller and Diana Gardiner and the expert assistance of Mrs. Joan Parker in report preparation.

REFERENCES

Haag, R.W. and L.C. Bliss, 1974. Energy-budget changes following surface disturbance to upland tundra. J. Appl. Ecol., 11, 355-374.

Kershaw, K.A., W.R. Rouse and B.T. Bunting, 1975. The impact of fire on forest and tundra ecosystems. Contract Report, ALUR, Dept. Indian & Northern Affairs, Ottawa. INA Publ. No. OS-8038-000-EE-A1. pp. 81.

Kershaw, K.A. and W.R. Rouse, 1976. The impact of fire on forest and tundra ecosystems. Final Report. ALUR, Dept. Indian & Northern Affairs, Ottawa, Publ. No. OS-8117-000-EE-A1. pp.54.

Priestley, C.H.B. and R.J. Taylor, 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. Mon. Weather Rev. 100, 81-92.

Rouse, W.R. and R.B. Stewart, 1972. A simple model for determining evaporation from high latitude upland sites. J. Appl. Meteorol., 11, 1063-1070.

Smith, M.W., 1976. Computer simulation of microclimatic and ground thermal regimes: test results and program description. Final Contract Report, ALUR, Dept. Indian and Northern Affairs. pp. 37.

Stewart, R.B. and W.R. Rouse, 1976(a). Simple models for calculating evaporation from dry and wet tundra surfaces. Arctic and Alpine Res. 8(3), 263-274.

Stewart, R.B. and W.R. Rouse, 1976 (b). A simple method for determining the evaporation from shallow lakes and ponds. Water Res. Res. 12(4), 623-628.

Weller, G. S. Cubley, S. Parker, D. Trabant and C. Benson, 1972. The tundra microclimate during snow melt at Barrow Alaska. Arctic, 25, 291-300.

Weller, G. and B. Holmgren, 1974. The microclimates of Arctic tundra. J. Appl. Meteorol., 13(8), 854-862.

Affaires indiennes et du Nord Canada
Indian and Northern Affairs Canada

Étude environnementale n° 2

Classification des effets du feu sur les microclimats des écosystèmes de forêt et de toundra — Rapport final

Programme des Affaires du Nord

Canada

Étude environnementale nº 2

Classification des effets du feu sur les microclimats des écosystèmes de forêt et de toundra — Rapport final

W.R. Rouse
P.F. Mills
Département de géographie
Université McMaster

Publié avec l'autorisation de
l'hon. J. Hugh Faulkner,
ministre des Affaires indiennes et du Nord,
Ottawa, 1977
QS-8147-000-FF-A2

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1977
N° de catalogue: R71-19/2F
ISBN-0-662-01241-0

Le présent rapport a été préparé en vertu d'un contrat pour la Division de l'environnement de la Direction de la protection de l'environnement et des ressources renouvelables dans le Nord, du ministère des Affaires indiennes et du Nord. Les opinions, conclusions et recommandations contenues dans ce rapport sont celles de l'auteur et ne représentent pas nécessairement le point de vue du Ministère.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
Liste des tableaux		3
Liste des figures		4
Partie 1.	Objectifs et introduction	5
	1. Objectifs	5
	2. Introduction	5
Partie 2.	Effets des brûlis sur le microclimat	8
	3. Collecte des données	8
	4. Résultats	9
	4.1 Température et précipitations	9
	4.2 Température du sol	16
	4.3 Humidité du sol	16
	4.4 Rayonnement	16
	4.5 Evapotranspiration	17
	5. Remarques sommaires	18
Partie 3.	6. Comparaison avec les autres surfaces situées à des latitudes élevées et classification	18
	7. Bilan de rayonnement	23
	8. Bilan énergétique	26
	9. Classification	26
Partie 4.	Conclusions générales	26
Remerciements		30
Bibliographie		31

LISTE DES TABLEAUX

		Page
Tableau 1.	Description des lieux de recherche	6
Tableau 2.	Données climatiques moyennes-lac Thor 1974, 1975, 1976	11
	(a) période de recherche	11
	(b) température à l'ombre	11
	(c) précipitations	11
	(d) température du sol	11
	(e) écarts entre les températures du sol	12
	(f) humidité du sol	12
	(g) écarts entre les taux d'humidité du sol	12
	(h) rayonnement	13
	(i) flux de rayonnement comparatifs	14
Tableau 3.	Périodes durant lesquelles l'évaporation a été déterminée à partir du bilan énergétique	15
Tableau 4.	Calcul des totaux quotidiens d'évapotranspiration	21
Tableau 5.	Composantes quotidiennes, à la mi-été, du bilan de rayonnement	25
Tableau 6.	Composantes quotidiennes, à la mi-été, du bilan énergétique de surface	28

LISTE DES FIGURES

Page

Figure 1. Lieux de recherche montrant (a) une vue d'ensemble des cinq lieux à partir de la tour d'instruments au lieu E, (b) emplacement E du niveau du sol, (c) emplacements B et C, (d) emplacement D et (e) emplacement E. 7

Figure 2. Régression linéaire des totaux quotidiens de LE, calculés à partir du bilan énergétique LE_{EQ} déterminé à l'aide du modèle d'équilibre. Y est le coefficient de corrélation, σ est l'écart type du coefficient de régression. 19

Figure 3. Relation entre l'évaporation et l'humidité du sol, dans les nouveaux et le vieux brûlis. Le rapport entre l'évaporation réelle et l'évaporation potentielle est LE/PE. σ est tiré de l'éq. (3). 20

Figure 4. Comparaison de LE mesuré à partir du bilan énergétique, avec LE calculé par les équations du tableau 4. 22

Figure 5. Lieux de mesure montrant A. landes de lichen en région montagneuse, B. basses terres humides à joncs, C. lac peu profond, D. bois d'épinettes à maturité et de lichen, E. brûlis récent, E. vieux brûlis de 25 ans. 24

Figure 6. Classification des surfaces en fonction de leurs caractéristiques de rayonnement net et d'évaporation. Le rapport du rayonnement net et de l'insolation est exprimé par $Q^*/K\downarrow$. Le rapport de la chaleur latente d'évapotranspiration en fonction de l'insolation est exprimé par LE/K 29

Partie 1

Objectifs et introduction

1. Objectifs

Cette étude a deux buts. Le premier est de résumer les effets microclimatiques des brûlis de bois subarctiques exposés, aux points de vue température du sol et humidité ainsi que rayonnement, évaporation et évapotranspiration. Le deuxième vise à comparer les caractéristiques microclimatiques des bois de lichen et de brûlis datant de diverses périodes à des régions de toundras humides et sèches exposées sous forme de bilan énergétique.

2. Introduction

Au cours des étés allant de 1974 à 1976, une série complète de mesures microclimatiques ont été prises dans les Territoires du Nord-Ouest à un endroit situé à environ 85 milles au nord-est d'Uranium City à 60° 21'N, 106° 54'O. Les particularités de la région générale de recherches sont soulignées dans Kershaw et Rouse (1976). Cet endroit a été choisi parce que les feux naturels s'y propagent facilement; en raison également des caractéristiques de son sol sablonneux uniforme, formé sur des dépôts de drumlin; de la nature uniforme des bois de lichen sur les crêtes des drumlins et de la proximité d'un brûlis de taille moyenne vieux de 22 ans et d'un bois bien fourni d'épinette sur du lichen qui n'a pas brûlé depuis au moins 80 ans. De petites étendues de bois au sol de lichen ont brûlé en 1973 et 1974 et en 1975 une étendue plus grande encore a été consumée. Comme l'indique le tableau 1, ces emplacements sont désignées de A à E, l'emplacement A étant le brûlis le plus récent et E le bois au sol de lichen parvenu à maturité. Nous pouvons voir les 5 lieux de mesure à la figure 1 et les particularités relatives à la surface de chaque lieu sont données dans Kershaw et Rouse (1976).

Les mesures microclimatiques estivales ont duré trois ans (1974, 1975, 1976) et quelques études nivales ont été terminées vers la fin de l'hiver 1975. Les détails des résultats des travaux de 1974 et 1975 figurent dans les ouvrages Kershaw et coll. (1975) et Kershaw et Rouse (1976).

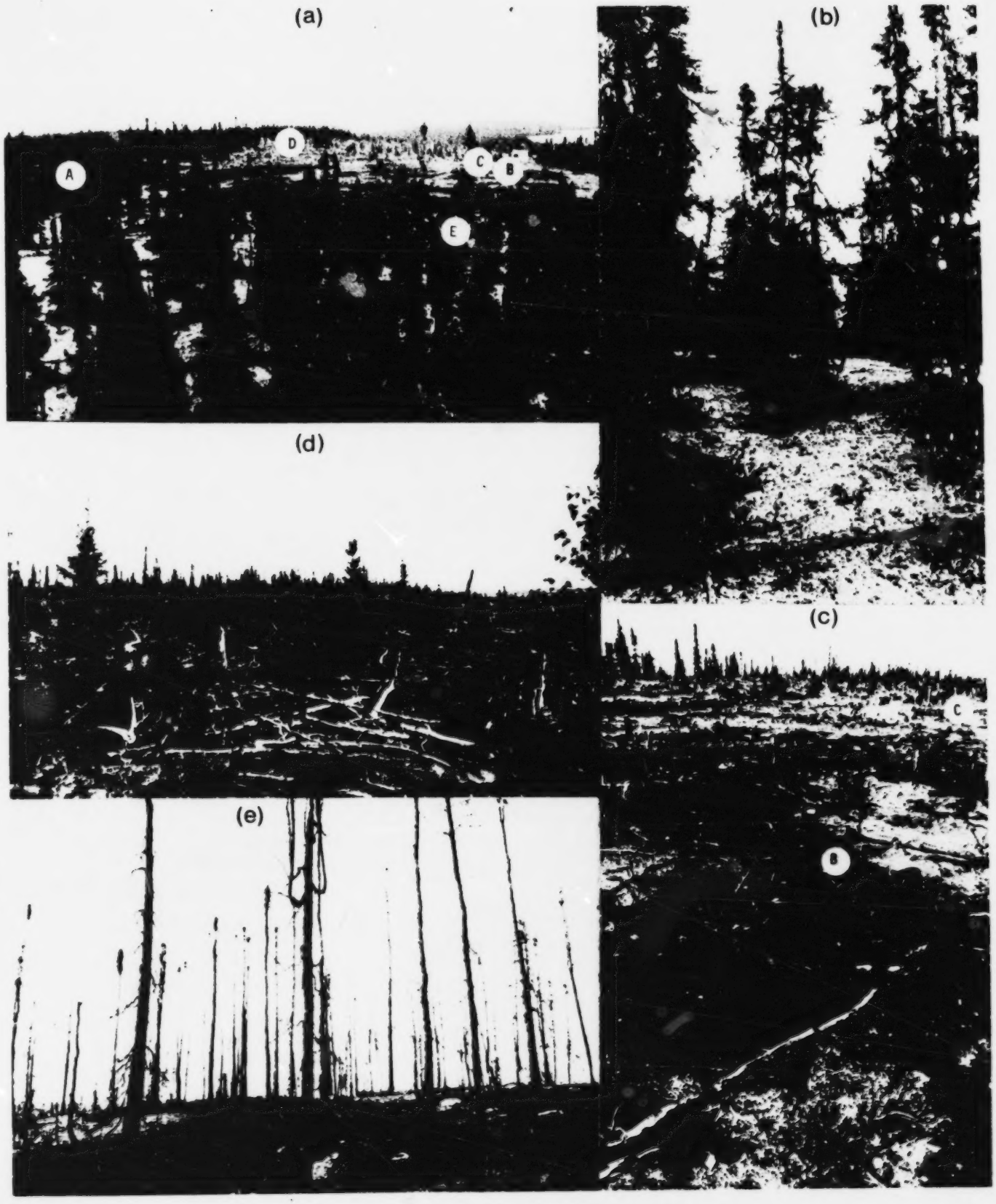
Ce rapport résume l'ensemble des mesures effectuées au cours d'une période de trois ans et souligne les caractéristiques essentielles des changements microclimatiques qui accompagnent les brûlis. Il sert aussi d'étude comparative pour des recherches semblables menées dans la toundra exposée du littoral de la baie d'Hudson, décrites dans les rapports Rouse et Stewart (1972) et Stewart et Rouse (1976a, 1976b); enfin, on y élabore une classification des caractéristiques relatives à l'énergie disponible et à l'évaporation.

TABLEAU 1

Description des lieux de recherche

Année	LIEUX DE RECHERCHE				
	A	B	C	D	E
1972	BL(79)[a]	BL(79)	BL(79)	Brûlis de 21 ans	BL(79)
1973	BL(80)	BL(80)	Brûlis de 1'année	Brûlis de 22 ans	BL(80)
1974	BL(81)	Brûlis de 1'année	Brûlis d'un an (2^e fois)	Brûlis de 23 ans	BL(81)
1975	Brûlis de 1'année	Brûlis d'un an	Brûlis de 2 ans	Brûlis de 24 ans	BL(82)
1976	Brûlis d'un an	Brûlis de 2 ans	Brûlis de 3 ans	Brûlis de 25 ans	BL(83)

[a]Le chiffre entre parenthèse après BL (bois de lichen) indique le nombre d'années écoulées depuis la date du brûlis.


(a)
A
D
C
B
E
(b)
(d)
(c)
C
B
(e)

Partie 2

Effets des brûlis sur le microclimat

3. Collecte des données

Toutes les périodes consacrées à l'expérience sont clairement indiquées pour chaque été au tableau 2(a). Les mesures de chacunes des trois années ne correspondent pas à la même époque et, afin de pouvoir les comparer, les données ont été normalisées.

La température a été enregistrée de façon continue à l'aide d'un hygrothermographe logé dans un abri Stevenson et l'enregistrement est complet pour toutes les périodes de recherche. Le niveau de précipitations a été mesuré aux sept emplacements illustrés dans Kershaw et Rouse (1976); on a ensuite utilisé la moyenne de ces mesures. La température du sol a été mesurée à tous les emplacements à l'aide de thermocouples plongeant dans des bains de glace et placés à des profondeurs de 5, 10, 20, 40, 80 et 160 cm. Les températures du sol ont été enregistrées à des intervalles d'une heure durant le jour, pendant les jours sans précipitations. A quelques reprises, on les a également mesurées durant une journée complète de 24 heures. L'humidité du sol a été mesurée à l'aide d'une sonde à neutrons aux emplacements 6, 4, 4, 5 et 12, des lieux respectifs A, B, C, D et E. Lorsque c'était possible, des mesures étaient prises tous les cinq jours à des profondeurs de 5, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 cm. De plus, en 1976, l'humidité du sol en surface (0 - 2.5cm) a été mesurée à l'aide d'un gravimètre chaque jour à chacun des emplacements.

Le bilan de rayonnement Q* peut être exprimé en termes d'insolation $K\downarrow$, d'albédo de surface a, de rayonnement incident de grande longueur d'onde $L\downarrow$, et de rayonnement réfléchi de grande longueur d'onde $L\uparrow$, selon la formule:

$$Q^* = K\downarrow (1-a) + L\downarrow - L\uparrow \qquad (1)$$

Chacun de ces facteurs a été mesuré directement ou obtenu par différence, tel qu'indiqué dans Kershaw et coll. (1975). De plus, la température de rayonnement de surface a été obtenue à partir de $L\uparrow$, d'après Kershaw et Rouse (1976). Les paramètres de rayonnement ont été mesurés au cours des journées les plus ensoleillées durant les trois saisons de recherche.

En 1975 et 1976, le flux LE de chaleur latente a été déterminé à l'aide du bilan énergétique, comme suit:

$$LE = (Q^* - G)\left[1 - \frac{\gamma}{S+\gamma}\,\frac{\Delta T}{\Delta T_w}\right] \qquad (1)$$

où G est le flux de chaleur au sol, γ la constante de psychromètre, S la pente de la courbe pression de vapeur saturante - température moyenne, qui est une simple fonction de la température de l'air. ΔT et ΔT_w sont les gradients verticaux moyens des températures de l'air du réservoir respectivement sec et mouillé. T et T_w ont été mesurées à quatre niveaux aux emplacements E (bois de lichen), et D (vieux brûlis), et aux emplacements combinés A, B, C (brûlis récents). LE a été calculé sur une base horaire et les valeurs horaires ont été additionnées pour donner les totaux journaliers. Les données qui sont utilisées dans l'équation (2) permettent de reconstituer le modèle d'équilibre d'évaporation dans lequel

$$LE_{EQ} = \alpha \frac{S}{S+\gamma} (Q^* - G) \qquad (3)$$

où α est un paramètre qui relie l'évaporation réelle à l'évaporation potentielle. Comme il est démontré dans Priestley et Taylor (1972), $\alpha = 1.26$ lorsque l'évapotranspiration est faite au taux potentiel. Cela a été vérifié pour l'évapotranspiration libre des surfaces de toundra par Stewart et Rouse (1976a, 1976b). Les valeurs de α deviennent inférieures à 1.26 lorsque l'approvisionnement du sol en eau est limité ou quand la végétation de surface gêne l'évaporation. L'équation (3) est un modèle attractif, car $S/S + Y$ est une fonction linéaire de la température de l'air sous abri et $G \rightarrow 0$ pour des périodes d'un jour ou plus. L'équation (3) peut alors être ramenée à

$$LE_{EQ} = \alpha f(T) \quad Q^* \qquad (4)$$

Les valeurs de α ont été obtenues pour les principaux types de surfaces de brûlis récents, (emplacements A, B, C), de vieux brûlis (emplacements D) et de bois de lichen (emplacement E), en comparant les équations (2) et (3).

Les données utilisées dans les équations (2) et (3) ont été réunies en 1975 et 1976 pour les périodes indiquées dans le tableau 3. Les gradients d'humidité et de température ont pu être mesurés seulement durant les périodes où le vent soufflait du sud-ouest. Dans ces conditions, des fetchs appropriés ont donné des profils précis de temps et d'humidité dans la couche limite de turbulence. Au total, on compte 20 jours de données réunies en 188 heures de mesures.

4. Résultats

4.1 Température et précipitation

Les températures moyennes sous abri pour les trois périodes d'étude sont présentées au tableau 2(b). Des comparaisons sont faites avec la moyenne à long terme de Fort Smith pour la période de 30 ans,

de 1941 à 1970. Fort Smith est situé à la même latitude, à environ 300 km à l'ouest. Les périodes d'étude de 1974 et 1975 ont été beaucoup plus froides que la moyenne, alors qu'en 1976 les températures étaient normales.

La chute de pluie la plus abondante, enregistrée en 1974, était deux fois et demie supérieure à la normale. L'été de 1975 a également été humide avec des précipitations de 40 p. 100 supérieures à la normale. Par contre, l'année 1976 a été une année sèche avec des précipitations inférieures à 80 p. 100 de la moyenne à long terme.

Ainsi, une grande variété de conditions climatiques ont été observées au cours des trois années d'étude, ce qui peut se résumer comme suit:

TABLEAU 2

Données climatiques moyennes - lac Thor 1974, 1975, 1976

MLT représente la moyenne à long terme (1941-1970) à Fort Smith pour la période d'étude.

LT représente la moyenne des données au lac Thor pour la période d'étude.

(a) Période de recherche

1974	4 juillet au 15 août	43 jours
1975	8 juin au 15 août	68 jours
1976	5 juin au 26 juillet	52 jours

(b) Température à l'ombre T représente la température moyenne en °C. Δ T est l'écart de température

Années	Période	Jours	MLT	LT	Δ T(LT - MLT)
1974	4 juillet au 15 août	43	15,4	13,6	-1,8
1975	9 juin au 15 août	68	15,7	12,9	-2,8
1976	5 juin au 26 juillet	52	15,2	15,4	-0,2

(c) Précipitation (cm)

Année	Période	Jours	MLT	LT	Préc./Jour MLT	Préc./Jour LT	LT/MLT
1974	11 juillet au 14 août	34	4,39	11,64	,129	,342	2,65
1975	8 juin au 8 août	61	7,87	10,98	,129	,180	1,40
1976	6 juin au 20 juillet	44	5,68	4,45	,129	,100	0,78

(d) Température du sol (°C)[1]

Année	Profondeur (cm)	Emplacements A	B	C	D	E
1974	0-40	AD	11,8	13.7	11.7	8.6
	0-160	AD	9.9	11.7	10.0	7,0
1975	0-40	12.9	14,1	15,6	12,7	9,2
	0-160	11.1	11,9	13,1	11,0	7,5
1976	0-40	13.9	14,2	15,4	12.6	9,0
	0-160	12.3	12.3	13.3	11.1	7.1

[1]Les températures du sol pour différentes années ne peuvent être comparées directement entre elles parce que la longueur des périodes de données varie.

A.D. Aucune donnée parce que l'emplacement A n'avait pas été créé.

(e) Écarts entre les températures du sol (°C) entre les brûlis et les bois de lichen parvenus à maturité (1). Moyenne des emplacements A, B, C, - Emplacement E. (2) Emplacements D - Emplacement E.

Année	Profondeur	(1)	(2)
1974	0-40	4,2	3,1
	0-160	3,8	3,0
1975	0-40	5,0	3,5
	0-160	4,5	3,5
1976	0-40	5,5	3,6
	0-160	5,5	4,0
Moyenne	0-40	4,9	3,4
	0-160	4,6	3,5

(f) Humidité du sol (pourcentage en volume)[1]

Année	Profondeur (cm)	A	B	C	D	E
1974	0-40	AD	18,1	17,1	16,7	20,1
	0-120	AD	18,6	17,6	16,5	21,2
1975	0-40	13,8	14,4	13,5	12,0	15,3
	0-120	14,8	15,2	14,2	12,5	17,0
1976	0-40	10,4	10,6	10,0	8,6	8,9
	0-120	11,2	11,8	11,1	9,4	13,7

[1] L'humidité du sol pour différentes années ne peut être directement comparée parce que la longueur des périodes de données varie.

A.D. Aucune donnée parce que l'emplacement A n'avait pas encore été créé.

(g) Écarts entre les taux d'humidité du sol (pourcentage en volume) entre les brûlis et le bois de lichen parvenu à maturité (1). Moyenne des emplacements A, B, C - Emplacement E (2) Emplacement D - Emplacement E.

Année	Profondeur	(1)	(2)
1974	0-40	-2,5	-3,4
	0-120	-3,1	-4,7
1975	0-40	-1,4	-3,3
	0-120	-2,3	-4,5

Année	Profondeur	(1)	(2)
1976	0-40	-0,1	-1,8
	0-120	-2,3	-4,3
Moyenne	0-40	-1,3	-2,8
	0-120	-2,6	-4,5

(h) Rayonnement. K↓ - Insolation; a - albédo de surface (%); K*- rayonnement solaire net; L↓rayonnement incident de grande longueur d'onde; L↑rayonnement réfléchi de grande longueur d'onde; L* - rayonnement net de grande longueur d'onde; Q* net (rayonnement de toutes les ondes. Tous les flux de rayonnement en cal cm^{-2} $jour^{-1}$)

K↓	1974	553	L↓	1974	693
	1975	530		1975	492
	1976	512		1976	357

		A	B	C	D	E
a	1974	AD	5.1	8.5	15.6	20.4
	1975	5.0	6.5	9.0	15.6	20.4
	1976	7.8	9.0	10.2	12.7	17.8
K*	1974	AD	525	506	467	440
	1975	504	496	482	447	422
	1976	472	466	460	447	421
L↑	1974	AD	871	887	871	800
	1975	716	710	709	665	585
	1976	515	510	509	474	418
L*	1974	AD	-178	-194	-178	-107
	1975	-224	-218	-217	-173	-93
	1976	-158	-153	-152	-117	-61
Q*	1974	AD	347	312	289	333
	1975	280	278	265	274	329
	1976	314	314	309	330	360

(i) Flux de rayonnement comparatifs A, B, C - Moyenne pour les brûlis récents D - vieux brûlis; E - bois de lichen.

	K^*_{ABC}/K^*_E	K^*_D/K^*_E
1974	1,17	1,06
1975	1,17	1,06
1976	1,11	1,06
Moyenne	1,15	1,06

	L^*_{ABC}/L^*_E	L^*_D/L^*_E
1974	1,74	1,66
1975	2,36	1,86
1976	2,53	1,92
Moyenne	2,27	1,81

	Q^*_{ABC}/Q^*_E	Q^*_D/Q^*_E
1974	0,99	0,87
1975	0,84	0,83
1976	0,87	0,92
Moyenne	0,89	0,87

TABLEAU 3

Périodes durant lesquelles l'évaporation a été déterminée à partir du bilan énergétique

Année	Date		Temps	Heures
1975	juin	20	0900-1400	6
		21	0600-1800	13
		22	0600-1400	5
		23	0600-1500	8
	juillet	6	0900-1200	4
		10	1100-1800	8
		11	0400-1700	14
		12	0500-1800	4
		16	0400-1900	16
		23	0800-1300	6
		27	0500-1700	13
	août	7	0900-1700	9
1976	juin	18	0600-1800	13
		19	1600-1700	2
		28	0800-1600	9
		29	0700-1800	12
		30	0600-1800	13
	juillet	3	0600-1800	13
		4	0600-1800	13
		5	0600-1200	7
			Total	188

1974 - frais et très humide
1975 - froid et humide
1976 - chaud et sec

4.2 Température du sol

Les données relatives à la température du sol sont présentées au tableau 2 (d). La couche du sol près de la surface (0 à 40 cm) constitue la zone où les racines des arbres du bois de lichen sont concentrées et qui subit les fluctuations saisonnières de température les plus fortes. Une étude comparative des brûlis récents, combinés (emplacements A, B, C) et des anciens brûlis (emplacement D) avec le bois de lichen (emplacement E) figure au tableau 2(e).

Les différences entre les divers emplacements étaient comparables, à toutes les profondeurs. En moyenne, la température des sols des brûlis récents était de 4,8°C plus élevée que celle des sols du bois de lichen, tandis que la température des sols de brûlis récents l'était de 3,5° C. Les écarts de température étaient plus élevés par temps sec.

4.3 Humidité du sol

Les données moyennes d'humidité du sol sont présentées au tableau 2 (f) et une étude comparative des emplacements au tableau 2(g). Le sol des brûlis récents et des vieux brûlis était plus sec que celui du bois de lichen. Les différences étaient toujours plus marquées à une certaine profondeur que près de la surface. Les écarts ont diminué sensiblement à mesure que le niveau de précipitations a diminué de 1974 à 1976, surtout au niveau de la surface.

4.4 Rayonnement

Tous les facteurs du bilan de rayonnement exprimés dans l'équation (1) sont présentés au tableau 2(h) pour les trois années de mesure. Des comparaisons entre le bois de lichen et les surfaces brûlées figurent au tableau 2(i).

Bien que les données puissent légèrement varier d'une année à l'autre, en raison de divers facteurs de manipulation des instruments et de conditions d'humidité changeantes, les résultats sont évidents. Les brûlis augmentent l'absorption de rayonnement solaire, à peu près de 15 % dans le cas des brûlis récents, et de 6% pour les vieux brûlis. Les brûlis entraînent une perte nette de rayonnement de grande longueur d'onde, équivalente à un facteur de 2,3 pour les brûlis récents et 1,8 pour les vieux brûlis. Le rayonnement net est réduit respectivement de 11 et 13 p. 100 pour les brûlis récents et les vieux brûlis; en effet, la perte accrue du rayonnement de grande longueur d'onde excède l'augmentation et l'absorption de rayonnement solaire.

4.5 Évapotranspiration

L'évapotranspiration selon le bilan énergétique tel qu'exprimé dans l'éq. (2) a été déterminée pour 12 périodes journalières en 1975 et 8 jours en 1976. Ces jours étaient les seuls où le vent provenait de la bonne direction pour répondre aux exigences du fetch implicites dans l'équation 2. Les mesures couvrent une période au cours de laquelle l'humidité volumétrique du sol au sein de la couche située entre 0 et 160 cm s'échelonnait de 20 à 11 p. 100 dans le bois recouvert de lichen, de 15 à 8 p. 100 dans le brûlis ancien, et de 17 à 10 p. 100 dans les brûlis récents.

Les totaux quotidiens du LE, qui marquent un recul par rapport au LE_{EQ} (équation 3), apparaissent à la figure 2. L'évapotranspiration du bois de lichen se situait près du taux potentiel et son évaporation quotidienne peut être décrite par $LE = 1.13\ LE_{EQ}$, avec un écart-type d'environ 5 p. 100.

L'évaporation, dans le brûlis ancien et les brûlis récents, peut être divisée en deux régimes distincts. Le premier est représenté, dans chaque cas, par 4 jours du début de l'été 1975, où l'humidité du sol était élevée et où l'évaporation se situait au niveau du taux potentiel, avec $LE = 1.26\ LE_{EQ}$. Pour toutes les autres périodes, l'évaporation est tombée au-dessous du taux potentiel. Il est possible de décrire avec exactitude le taux non potentiel correspondant au brûlis ancien par $LE = 0.97\ LE_{EQ}$, alors que dans le cas des brûlis récents ce taux se situe à un niveau plus bas, soit à $LE = 0.91\ LE_{EQ}$. L'interdépendance de l'évaporation, dans les brûlis récents, et de l'humidité du sol est définie de façon plus nette à la figure 3, où l'évaporation potentielle PE correspond à $PE = 1.26\ LE_{EQ}$. Il est évident que, dans le cas du brûlis ancien, le changement observé entre les évaporations potentielle et non potentielle survient lorsque le niveau de l'humidité du sol se situe aux environs de 13 p. 100, alors que pour les brûlis récents, il se produit lorsque l'humidité du sol est de 15 p. 100. Cette différence entre les taux d'évaporation des brûlis ancien et récents est due à la capacité de la végétation du brûlis ancien de soutirer du sol, aux fins de la transpiration, un volume d'eau qui dépasse en importance ce qui est disponible dans les brûlis récents, pour l'évaporation directe à partir de la surface. La figure 3 montre que, dans des conditions non potentielles, l'évaporation se réalise à 77 p. 100 du taux potentiel dans le cas du brûlis ancien et à 72 p. 100 du taux potentiel dans le cas des brûlis récents.

Il est en outre possible de calculer les totaux quotidiens d'évapotranspiration simplement à partir de la température sous abri et du rayonnement net, tel qu'indiqué au tableau 4. Le LE calculé en utilisant les équations du tableau 4 est tracé en fonction du LE mesuré pour toutes les surfaces apparaissant à la figure 4. Il est évident qu'il existe une très bonne concordance, bien que les valeurs calculées tendent à être légèrement trop élevées, à des taux d'évaporation élevés, l'écart maximal étant de 15 p. 100.

5. Remarques sommaires

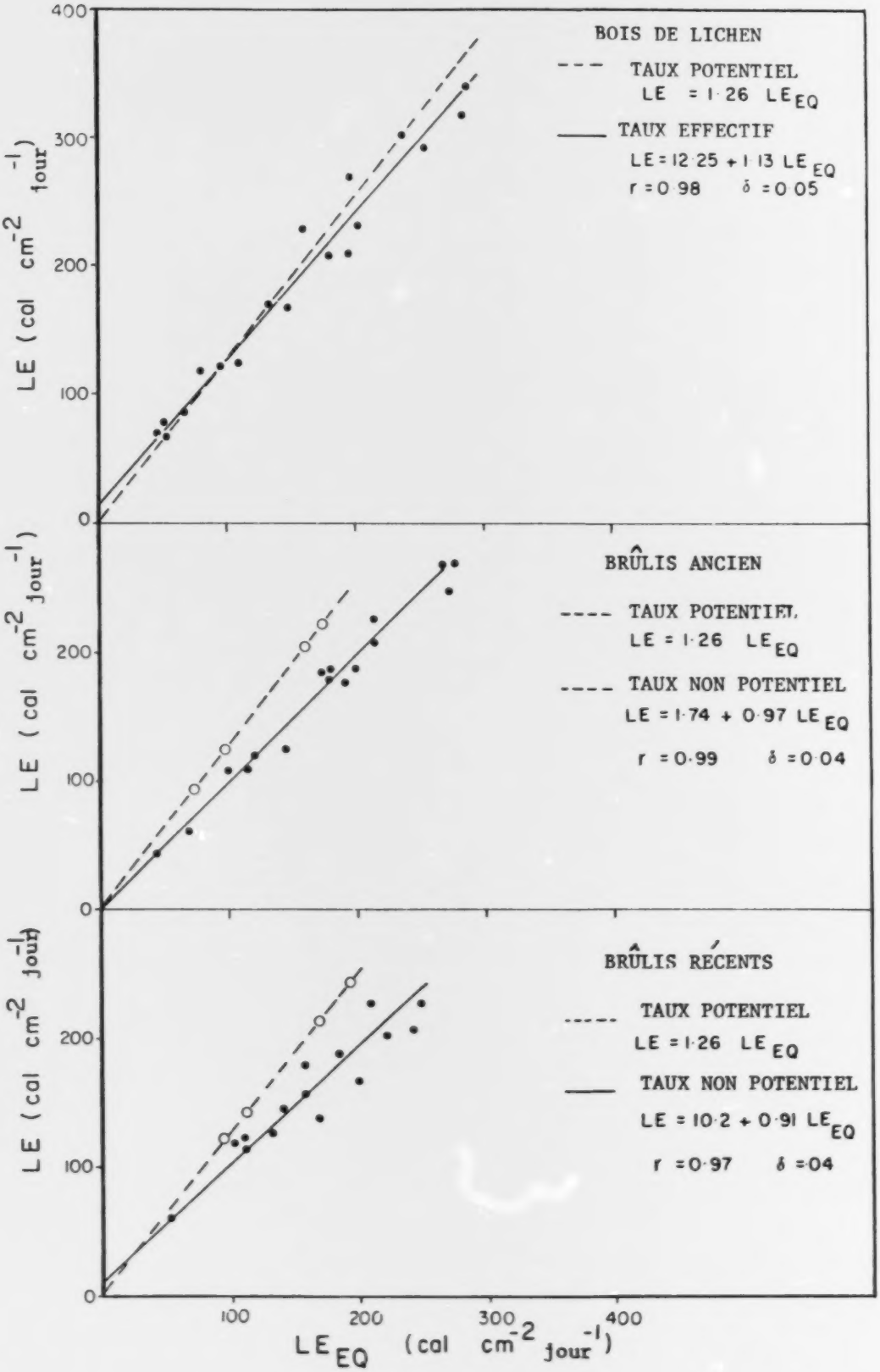
En raison du large éventail des conditions d'humidité ayant prévalu au cours des trois années de la présente étude, et de la cohérence des résultats obtenus, il est possible de tirer des conclusions sur les répercussions que peut avoir le brûlage sur le microclimat d'un bois de lichen subarctique.

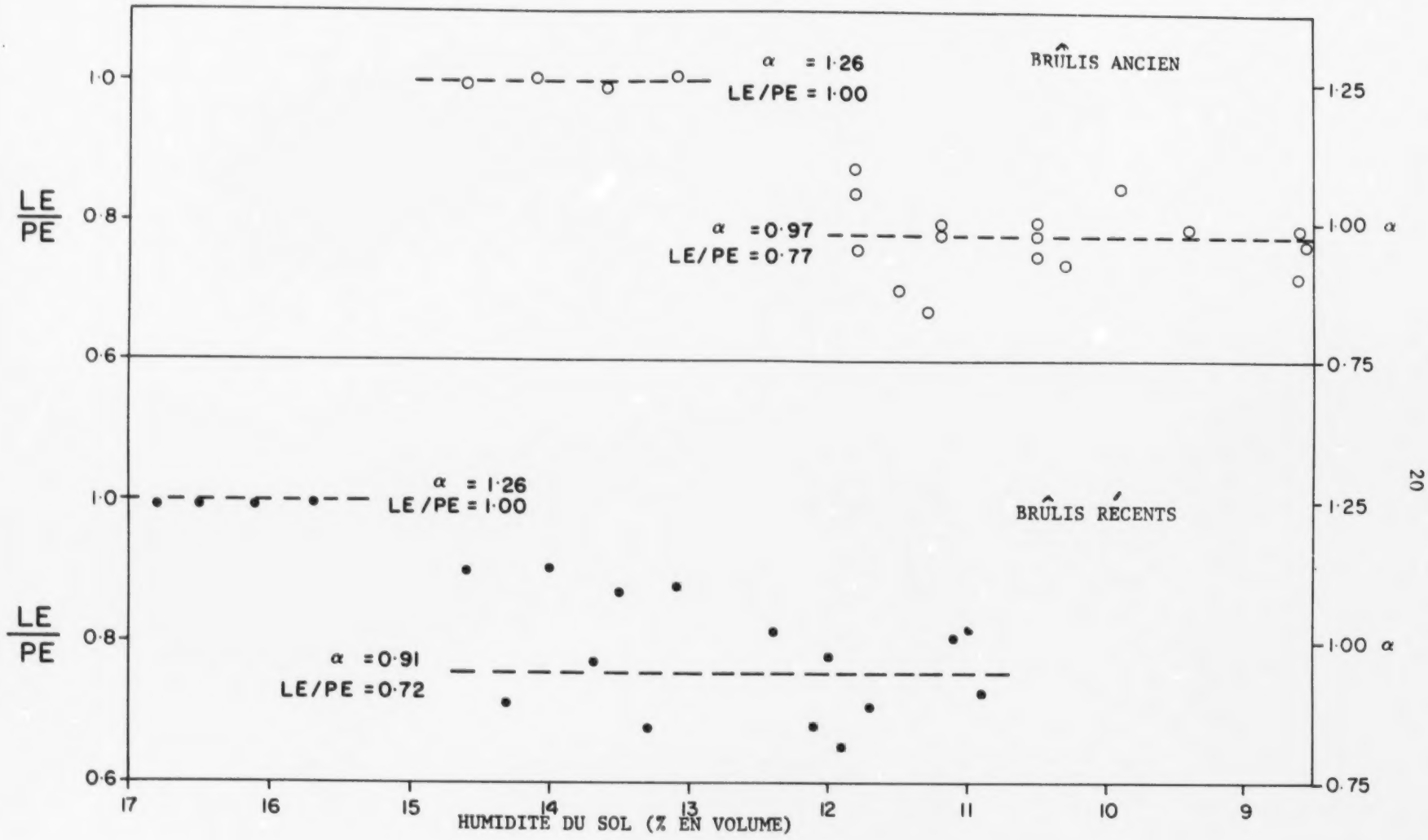
Le brûlage apporte en effet des changements importants au microclimat pour des périodes dépassant 25 ans. Les températures du sol, en été, sont accrues d'une valeur pouvant aller jusqu'à 5.5°C. Et c'est au cours des étés secs que cet accroissement est le plus marqué. Il n'existe apparemment pas de changement net dans les températures annuelles du sol (Kershaw et Rouse, 1976). Quant à l'humidité du sol, elle est sensiblement réduite, les effets les plus marqués apparaissant dans le brûlis ancien. Les différences d'humidité du sol entre les divers emplacements sont les mêmes pour les années humides et les années sèches. Le rayonnement net d'été est en effet réduit de plus de 10 p. 100 dans le cas des brûlis. A l'exception du début de l'été, où les sols sont très humides, l'évaporation est réduite de 19 p. 100 dans les brûlis récents et de 14 p. 100 dans les brûlis anciens. Il est possible de déterminer, remarquablement bien, le taux d'évaporation quotidienne pour l'ensemble des surfaces, simplement en fonction du rayonnement net et de la température enregistrée sous abri.

Partie 3

6. Comparaison avec les autres surfaces situées à des latitudes élevées et classification

Le sujet du rayonnement et du comportement, au niveau du bilan énergétique, des surfaces situées à des latitudes moyennes a été abondamment traité au cours des deux dernières décennies; on n'a, par contre, réalisé que peu de recherches sur les latitudes élevées. Un certain nombre d'études portant sur diverses surfaces à des latitudes élevées ont cependant été terminées récemment. Elles comportent des travaux sur de vastes étendues de toundra, à Barrow, en Alaska (Weller et col., 1972 Weller et Hölmgren, 1974), sur de vastes étendues de toundra de la côte des Territoires du Nord-Ouest (Haag et Bliss, 1974) de même que sur la toundra humide et la toundra sèche que l'on trouve à l'île Ellesmere (Smith, 1976). Rouse et Stewart (1972), Stewart et Rouse (1976a, 1976b) ont aussi fourni des rapports de recherches traitant du bilan énergétique, qui portaient sur la toundra particulière aux landes de lichen des régions montagneuses, sur la toundra des basses terres humides à joncs, de même que sur un lac de toundra peu profond. Il est possible de comparer directement ces études aux résultats obtenus dans le cas du bois de lichen et des brûlis de la section 2, du fait que les techniques expérimentales utilisées étaient iden-


BOIS DE LICHEN
TAUX POTENTIEL
LE = 1·26 LE EQ
TAUX EFFECTIF
LE = 12·25 + 1·13 LE EQ
r = 0·98 δ = 0·05
BRÛLIS ANCIEN
TAUX POTENTIEL
LE = 1·26 LE EQ
TAUX NON POTENTIEL
LE = 1·74 + 0·97 LE EQ
r = 0·99 δ = 0·04
BRÛLIS RÉCENTS
TAUX POTENTIEL
LE = 1·26 LE EQ
TAUX NON POTENTIEL
LE = 10·2 + 0·91 LE EQ
r = 0·97 δ = 04
LE (cal cm-2 jour-1)
LE EQ (cal cm-2 jour-1)
0
100
200
300
400


BRÛLIS ANCIEN
α = 1·26
LE/PE = 1·00
α =0·97
LE/PE = 0·77
BRÛLIS RÉCENTS
α = 1·26
LE/PE = 1·00
α =0·91
LE/PE =0·72
LE/PE
α
1·0
0·8
0·6
1·25
1·00
0·75
17
16
15
14
13
12
11
10
9
HUMIDITÉ DU SOL (% EN VOLUME)

Calcul des totaux quotidiens d'évapotranspiration. LE représente l'évapotranspiration ou l'évaporation (cal $cm^{-2}jour^{-1}$); Q* est le rayonnement net (cal $cm^{-2}jour^{-1}$), et T la température moyenne enregistrée sous abri pendant la période quotidienne où Q* (^{o}C) est positif.

Bois de lichen

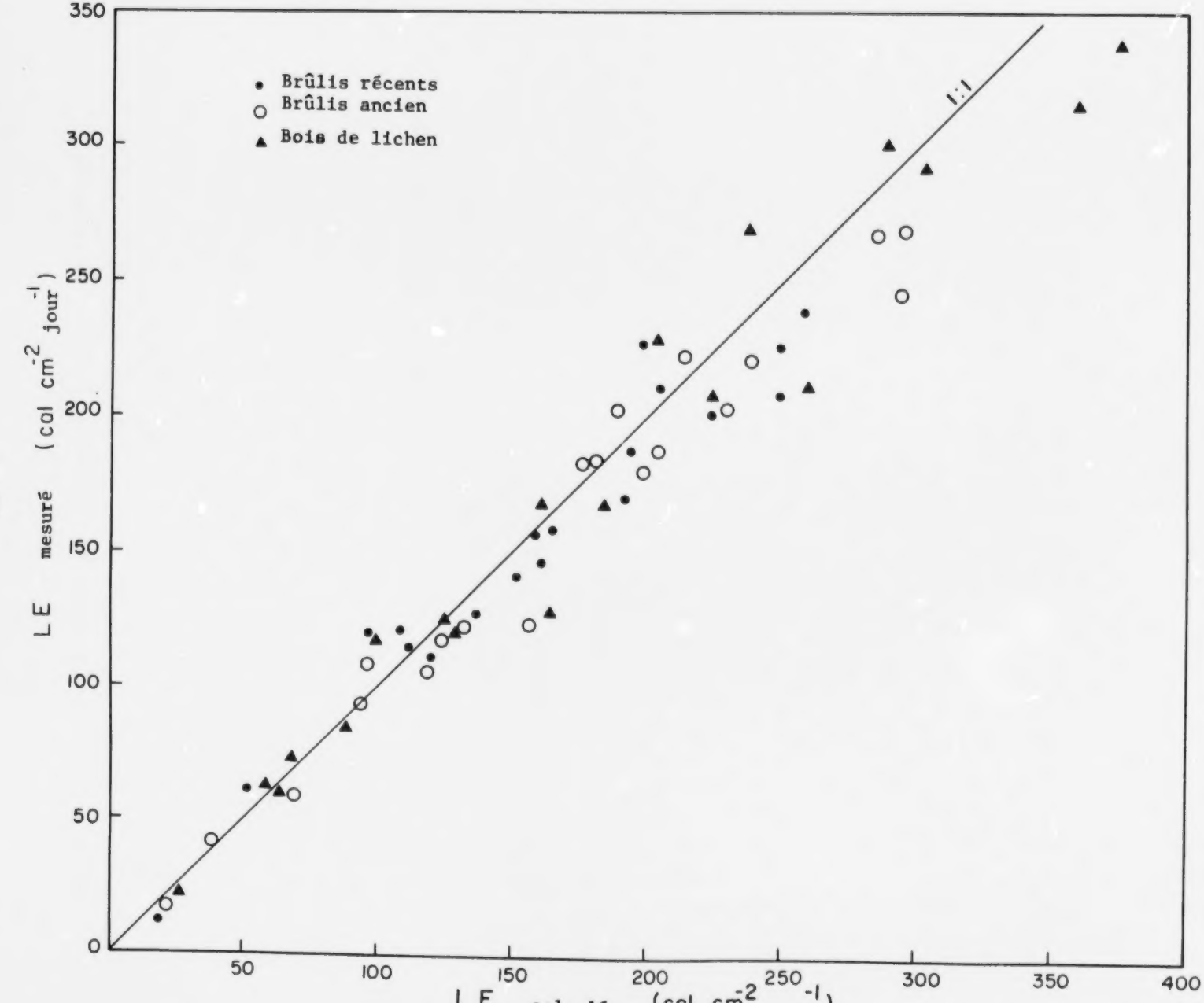
Ensemble des conditions	LE = 1.13 (0.434 + 0.012T) Q*

Brûlis ancien

Conditions potentielles	LE = 1.26 (0.434 + 0.012T) Q*
Conditions non potentielles	LE = 0.97 (0.434 + 0.012T) Q*

Brûlis récent

Conditions potentielles	LE = 1.26 (0.434 + 0.012T) Q*
Conditions non potentielles	LE = 0.91 (0.434 + 0.012T) Q*


Brûlis récents
Brûlis ancien
Bois de lichen
1:1
LE mesuré (cal cm-2 jour-1)
0
50
100
150
200
250
300
350
400

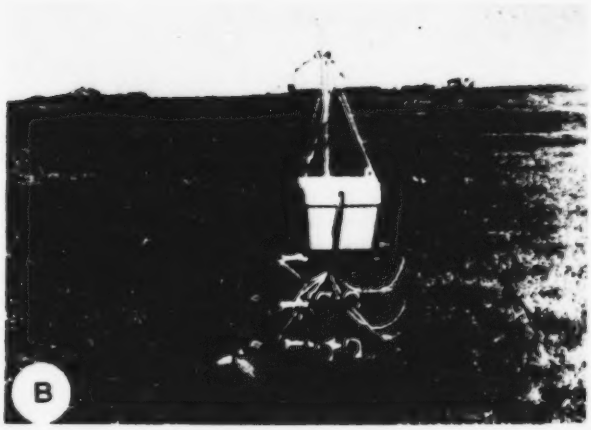
tiques, les latitudes similaires et les saisons où ont été effectuées les recherches, comparables. Ces diverses surfaces peuvent être classées selon leur comportement, durant l'été, au niveau du rayonnement et du bilan énergétique. Les six surfaces utilisées pour l'étude comparative apparaissent à la figure 5.

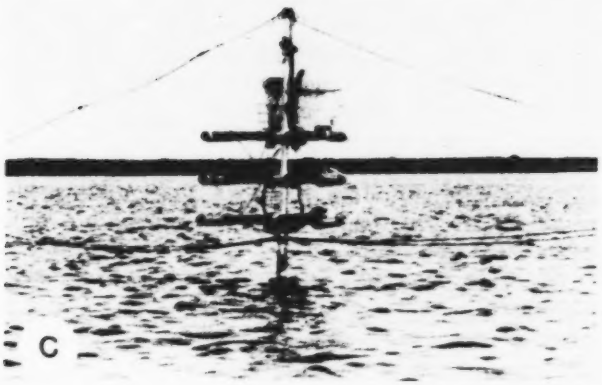
7. Bilan de rayonnement

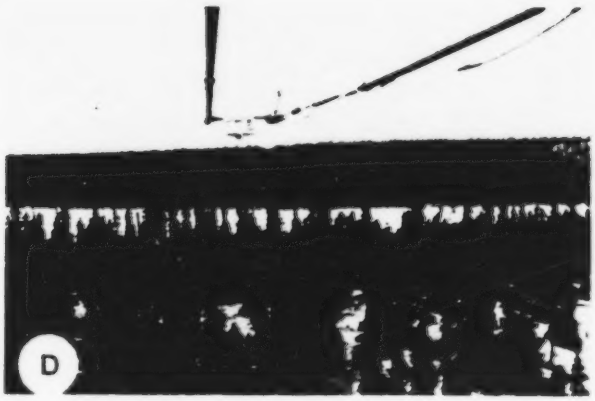
Les divers flux faisant partie du bilan du rayonnement apparaissent au tableau 5. Les données utilisées dans le présent rapport ne portent cependant que sur des ciels clairs. Les totaux moyens quotidiens s'appliquant à K↓ étaient les mêmes pour toutes les surfaces. C'est pourquoi il est tout à fait possible, dans le tableau 5, d'utiliser 100 unités de K↓ pour établir la comparaison entre les diverses surfaces. Les totaux moyens quotidiens de L↓ étaient eux aussi les mêmes. Les six types de surfaces ont été classés par ordre décroissant, des plus élevés aux plus bas, en fonction de Q*, le paramètre de rayonnement le plus important du fait qu'il représente l'énergie rayonnante dont dispose la biosphère.

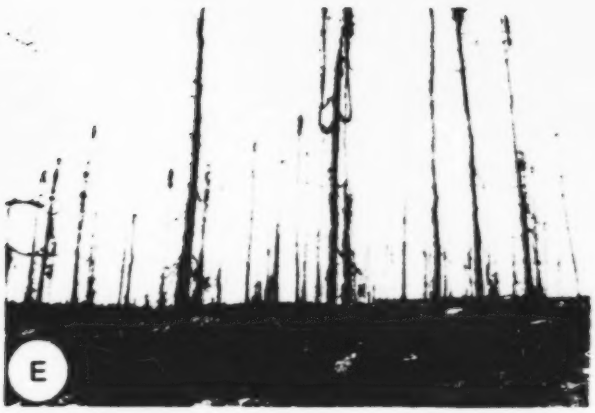
Les écarts importants existant entre les diverses surfaces, pour Q*, dépendent des effets combinés du rayonnement solaire absorbé K* et de la perte nette de rayonnement de grande longueur d'onde L*. C'est pourquoi, même si l'albédo de surface (indiqué par K↑) du lac et des brûlis récents est à peu près le même, ceux-ci présentent une radiation nette beaucoup plus basse du fait de leur important flux émis, de grande longueur d'onde, causé par les températures élevées de la surface. Bien que le bois de lichen parvenu à maturité présente l'albédo le plus élevé des surfaces étudiées, il conserve malgré tout un rayonnement net élevé en raison de la fraîcheur de ses températures de rayonnement et de sa perte de rayonnement de grande longueur d'onde moins importante. La lande de lichen joint à un albédo relativement élevé une perte assez grande de rayonnement de grande longueur d'onde, en plus d'accuser une diminution de Q*, comparativement au bois de lichen. Le lac de toundra peu profond et la prairie humide à joncs se distinguent comme des surfaces à haute énergie, ce qui est d'ailleurs le cas des surfaces saturées de toutes les latitudes. L'effet du brûlage sur le bois de lichen est de le faire passer de l'état de surface à haute énergie à celui de surface à basse énergie, au cours de la courte période d'été.

A


B


C


D


E

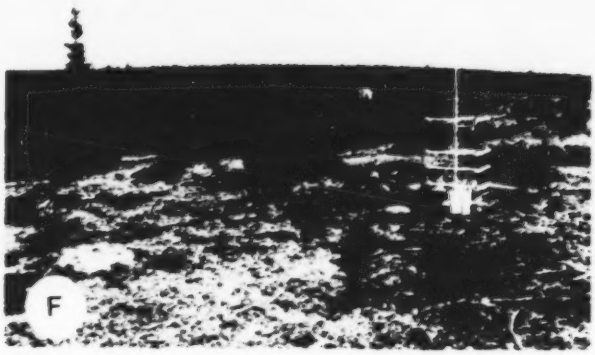

F

TABLEAU 5

Composantes quotidiennes, à la mi-été, du bilan de rayonnement

Pourcentage d'insolation pour une journée de 24 heures

Surface	K↓	K↑	K*	L↓	L↑	L*	Q*
Lac de toundra peu profond (lat. 56°)	100	8	92	86	105	-19	73
Toundra humide (lat. 56°)	100	11	89	86	105	-19	70
Bois recouvert de lichen parvenu à maturité (Emplacement E)	100	20	80	86	101	-15	65
Brûlis récents (Emplacements A, B et C)	100	7	93	86	120	-34	59
Lande de lichen de région montagneuse (lat. 56°)	100	19	81	86	109	-23	58
Brûlis ancien (Emplacement D)	100	15	85	86	115	-29	56

8. Bilan énergétique

Les composantes du bilan énergétique apparaissent au tableau 6, en fonction de 100 unités K↓, et les diverses surfaces sont données dans le même ordre que pour le bilan de rayonnement. Dans le cas du lac de toundra, les données ne sont valables que pour une période minimale de 4 jours au cours de laquelle l'accumulation de chaleur dans le lac était proche de zéro.

Le lac peut profond et la toundra humide à joncs possèdent des bilans énergétiques analogues, correspondant étroitement aux mesures prises sur la toundra saturée par Weller et coll. (1972). Ils constituent tous deux des surfaces d'évaporation efficaces, bien que le lac soit, dans une certaine mesure, un meilleur évaporateur, principalement en raison de son rayonnement net plus élevé.

Le bois recouvert de lichen parvenu à maturité accuse l'évapotranspiration la plus élevée des surfaces des régions montagneuses. Les trois autres surfaces des mêmes régions, qui comprennent la lande de lichen, les brûlis récents et les brûlis anciens, possèdent des vitesses d'évaporation analogues. Ils présentent tous à leur surface une résistance importante à l'évaporation dont nous traiterons dans la section suivante. Pour toutes les surfaces des régions montagneuses, le flux de chaleur sensible H est important et comporte au moins 20 p. 100 de K↓. L'intense flux de chaleur sensible provenant des brûlis récents se manifeste de façon visible, durant les chaudes journées d'été, par la formation fréquente de tourbillons de poussière.

9. Classification

Les surfaces peuvent être classifiées selon leur énergie rayonnante et leurs caractéristiques d'évaporation, tel qu'indiqué à la figure 6. Il semble que les surfaces naturelles se rangent dans un large éventail, qui va d'une haute énergie accompagnée d'une évaporation importante à une énergie faible accompagnée d'une évaporation peu intense. L'effet du brûlage sur le bois recouvert de lichen est de faire soudainement passer cette surface d'une position caractérisée par une énergie faible et une évaporation peu importante, propres au bas de l'échelle.

Partie 4

Conclusions générales

Le feu a exercé un effet marqué sur le microclimat de la surface boisée subarctique étudiée. Les températures du sol sont en effet, durant l'été, de 3,0 à 5,5°C plus chaudes dans le cas des surfaces brûlées. Des données restreintes (Kershaw et Rouse, en 1976) indiquent cependant qu'il n'existe apparemment pas de réchauffement net à long terme du sol, attribuable au brûlage, dans le secteur ayant fait l'objet de la recherche. Les sols sont de 12 à 20 p. 100 plus secs dans le cas des surfaces brûlées, et il s'agit là d'un effet à long terme qui dure pendant plusieurs décennies.

Le rayonnement net sur ces mêmes surfaces est réduit considérablement et la vitesse d'évaporation y est pour ainsi dire annulée. Il s'agit dans les deux cas d'effets à long terme.

En autant que les feux ne s'étendent qu'à de petits secteurs de quelques kilomètres carrés, les effets sur le climat régional et sur l'hydrologie seront minimisés. Il est cependant probable qu'un brûlage à grande échelle s'étendant sur des centaines de kilomètres carrés conduirait à un certain degré d'aridité régionale, susceptible d'influer sur les rendements du bassin hydrographique touché et aurait des répercussions sur la région du delta, ainsi que sur les divers habitats de la faune.

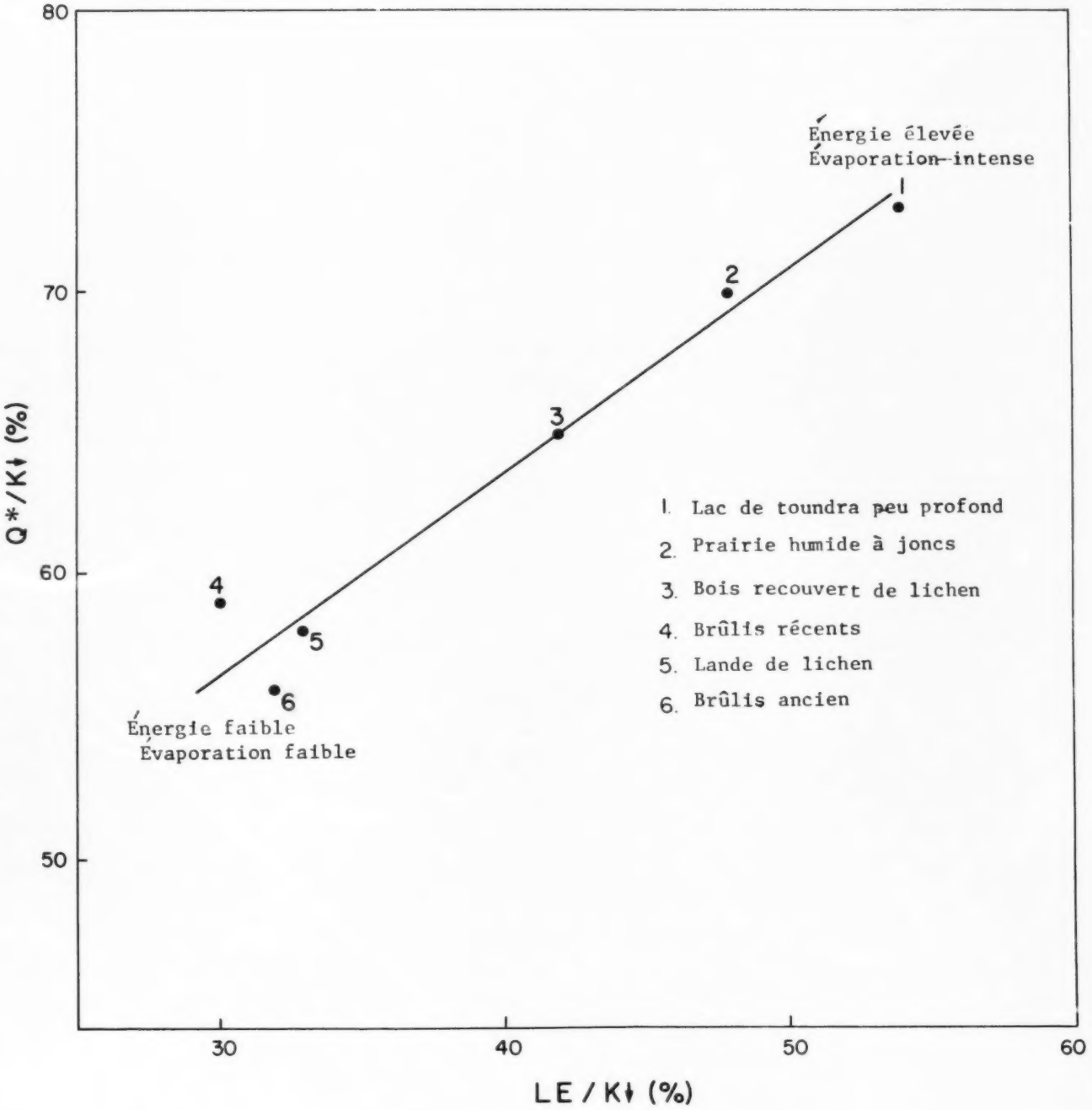
TABLEAU 6

Composantes quotidiennes, à la mi-été, du bilan énergétique de surface

Pourcentage d'insolation pendant une journée de 24 heures

Surface	Q*	G	LE	H
Lac de toundra peu profond (lat. 56°)	73	0*	54	19
Toundra humide (lat. 56°)	70	4	48	18
Bois recouvert de lichen parvenu à maturité (Emplacement E)	65	3	41	21
Surface fraîchement brûlée (Emplacements A, B et C)	59	2	30	27
Lande de lichen de région montagneuse (lat. 56°)	58	3	33	22
Bois recouvert de lichen, brûlé il y a 25 ans (Emplacement D)	56	2	31	23

* Réchauffement d'un lac de 0.5 m de profondeur→0, sur une période de 4 jours.


80
70
60
50
30
40
50
60
Q*/K↓ (%)
LE / K↓ (%)
Énergie élevée
Évaporation intense
Énergie faible
Évaporation faible
1
2
3
4
5
6
1. Lac de toundra peu profond
2. Prairie humide à joncs
3. Bois recouvert de lichen
4. Brûlis récents
5. Lande de lichen
6. Brûlis ancien

Remerciements

Il nous fait extrêmement plaisir de remercier John Kardynalzyk, Steve Fuller et Diana Gardiner pour le travail qu'ils ont réalisé sur le terrain, ainsi que Mme Joan Parker, pour l'aide qu'elle nous a apportée, à titre d'expert, dans la préparation du rapport.

BIBLIOGRAPHIE

Haag, R.W. et L.C. Bliss, 1974. Energy-budget changes following surface disturbance to upland tundra. J. Appl. Ecol., 11, 355-374.

Kershaw, K.A., W.R. Rouse et B.T. Bunting, 1975. The impact of fire on forest and tundra ecosystems. Rapport RUTA, Ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien, Ottawa, AIN Publ. n° QS-8038-000-EE-A1. pp. 81.

Kershaw, K.A. et W.R. Rouse, 1976. The impact of fire on forest and tundra ecosystems. Rapport final RUTA Ministère des Affaires indiennes et du Nord canadien, Ottawa, Publ. n° QS-8117-000-EE-A1. pp. 54.

Priestley, C.H.B. et R.J. Taylor, 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameters. Mon. Weather Rev. 100, 81-92.

Rouse, W.R. et R.B. Stewart, 1972. A simple model for determining evaporation from high latitude upland sites. J. Appl. Meteorol., 11, 1063-1070.

Smith, M.W., 1976. Computer simulation of microclimatic and ground thermal regimes: test results and program description. Rapport final, RUTA, Ministère des Affaires indiennes et du Nord, pp. 37.

Stewart, R.B. et W.R. Rouse, 1976(a). Simple models for calculation evaporation from dry and wet tundra surfaces. Arctic and Alpine Res. 8(3), 263-274.

Stewart, R. B. et W.R. Rouse, 1976(b). A simple method for determining the evaporation from shallow lakes and ponds. Water Res. 12(4), 623-628.

Weller, G., S. Cubley, S. parker, D. Travant et C. Benson, 1972. The tundra microclimate during snow melt at Barrow, Alaska. Arctic, 25, 291-300.

Weller, G. et B. Hölmgren, 1974. The microclimates of the Arctic tundra. J. Appl. Meteorol., 13(8), 854-862.